
Aspectos Ontológicos da Física Quântica

Décio Krause
Departamento de Filosofia
UFSC

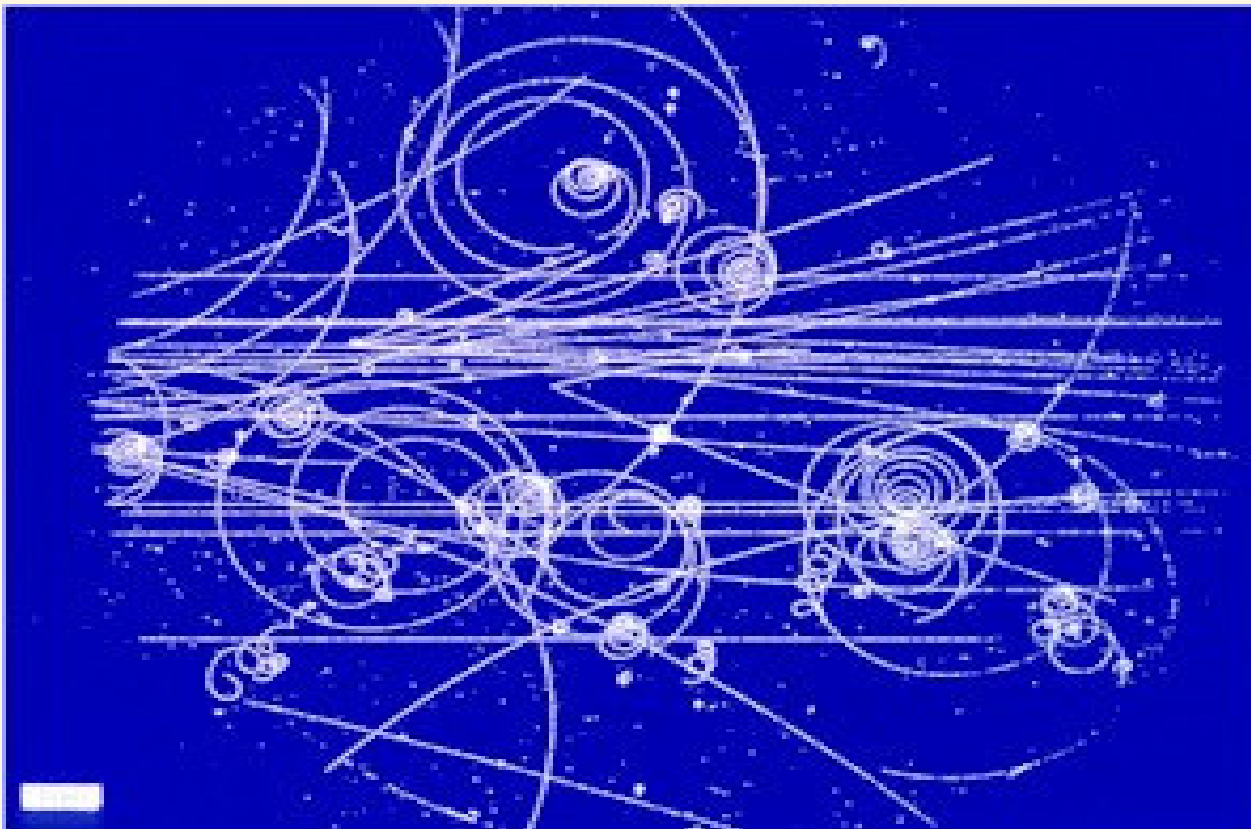


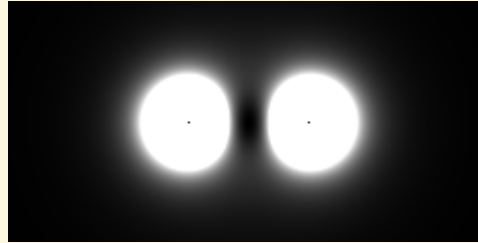
Grupo de Lógica e Fundamentos da Ciência -UFSC/CNPq

O objetivo da Física

- “o objetivo da física, em seu nível mais fundamental, não é descrever o mundo simplesmente, mas explicar porque ele é como é” (Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, p. 175)
 - **Fazemos isso por meio da elaboração de certos constructos matemáticos, nossas teorias.**
 - **Física Quântica: evolução**
 - “Velha” MQ (Planck, Einstein, Bohr – até ± 1925)
 - MQ ortodoxa (Heisenberg, Schödinger, Dirac,...)
 - QFT = MQ + Relatividade Especial (Heisenberg, Jordan, Born, Dirac, ...)
 - Modelo Standard (MS)– Física de “partículas”, mas é uma teoria de campos: teoria eletrofraca + QCD – **não há partículas pp. ditas (no sentido da física clássica)**
 - MS + RG = supercordas, gravitação quântica, ainda não são “teorias”.
 - Partículas são ainda indispensáveis para medições de eventos e de traços de partículas, registros em contadores Geiger, detetores de partículas, etc.
-

- Traços de partícula em uma câmera de bolhas.





- **Acima, dois campos elétricos envolvendo duas partículas; os campos não são vistos, apenas as áreas nas quais estão mais pronunciados.**
 - **Física de partículas**
 - **Seria a questão da *ontologia* das teorias físicas um problema filosófico somente?**
- **O que podemos dizer sobre o conceito de ‘objeto físico’?**

A que as teorias físicas, em particular as teorias quânticas se referem?

- (G. Toraldo di Francia, 1978)
 - “os historiadores talvez tenham se tornado cegos pelo glamour da relatividade e da mecânica quântica e gostam de descrever essas teorias como sendo **as** revoluções do início do século 20.
 - “No entanto, acredito que um desenvolvimento muito mais importante teve lugar na virada do século [do 19 para o 20], um desenvolvimento que os futuros historiadores provavelmente localizarão em uma perspectiva mais adequada.
 - “Trata-se da descoberta dos objetos **nomológicos** (...) objetos nomológicos são descritos por leis físicas, ou, talvez, cada classe deles represente uma lei física.”
-

Objetos *Nomológicos*

- Todas as características são prescritas por leis físicas e são as mesmas para todos os objetos de um mesmo tipo.

- Exemplo:

elétron

$$m = 9.1 \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ u.s.u.}$$

$$s = \frac{1}{2}$$

(vale para *todos eles*)



Giuliano Toraldo di
Francia (1916--)

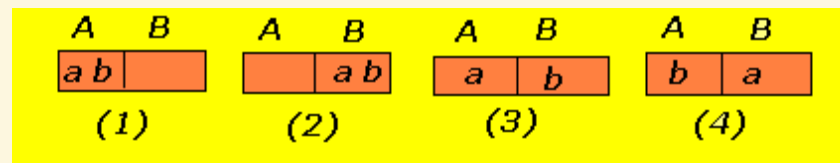
Objetos clássicos, objetos quânticos

- O conceito de objeto físico (em particular, o de “partícula”) é relativo à teoria adotada.
- O que é uma partícula elementar difere quando estamos na mecânica clássica, na mecânica quântica, nas QFT (epifenômenos, segundo Falkenburg), etc.
- Às vezes nem mesmo existem como nas teorias quânticas de campos (onde *tudo* é campo).
- Qualificar o termo “ontologia”: ontologia de uma teoria.

‘Ontologia Clássica’

objetos físicos ‘clássicos’

- Podem ser objeto de predicação: têm propriedades
- São *continuants* (têm *genidentity*)
- Podem ser distinguidos uns dos outros (ao menos espacialmente: Princípio de Impenetrabilidade)
- São *indivíduos*
- Podem ser ordenados, nomeados, contados
- Têm *identidade* (dada por alguma forma de substrato –obedecem a ‘estatística’ M-B)



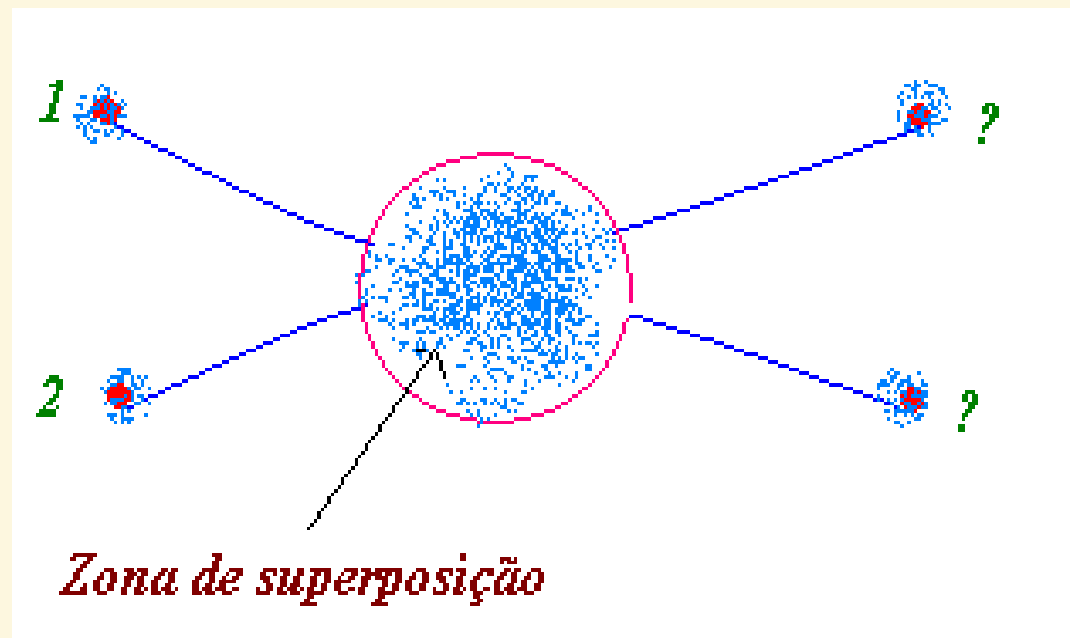
- Coleções de tais objetos podem ser vistas como *conjuntos* das teorias usuais de conjuntos.

‘Ontologia Quântica’

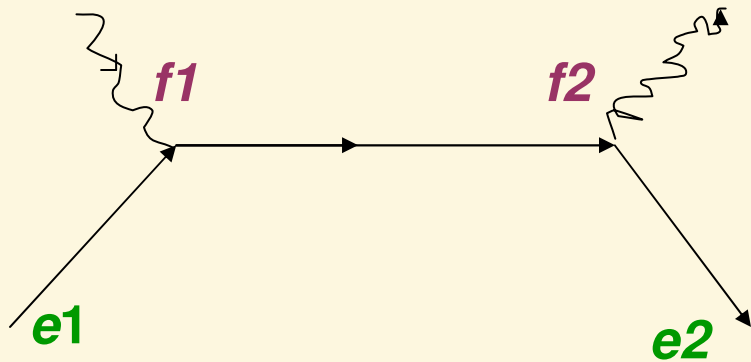
objetos físicos ‘quânticos’

(MQ não relativista)

- Não teriam individualidade? (Schrödinger, Cassirer, Born, Heisenberg, Weyl...)

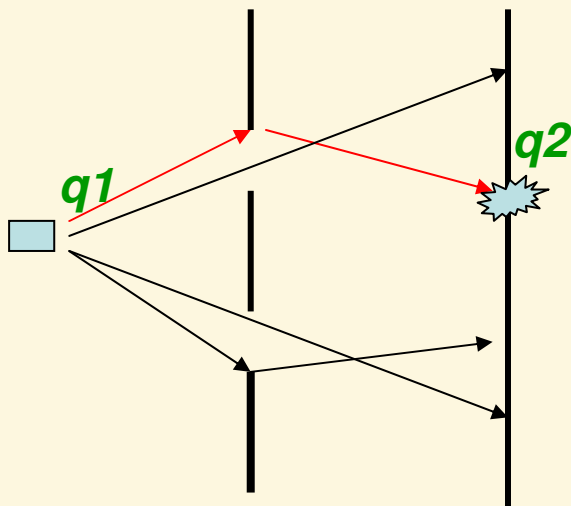


Diagramas de Feynman, Duas Fendas, etc.



$e1 = e2 ?$

$f1 = f2 ?$



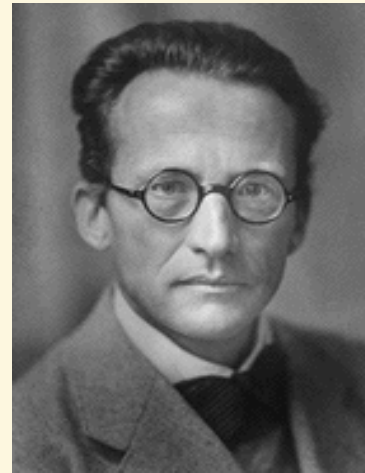
$q1 = q2 ?$

- Na semântica informal das teorias quânticas, consideramos, ainda que implicitamente, a existência de **objetos** de algum tipo, ou de **coleções** de tais objetos.
- Além disso, esses objetos são tratados como **não-indivíduos** em algum sentido.
 - Porém, a idéia de não-individualidade está em desacordo com a noção de **separabilidade**, a qual parece implicar individualidade.
- Mediante uma adequada mudança da lógica e da matemática subjacentes, podemos assumir uma **ontologia de não-indivíduos** compatível com tais semânticas intuitivas e que não afetam a noção de que há *vários quanta*, ainda que destituídos de individualidade.

O debate Einstein-Bohr

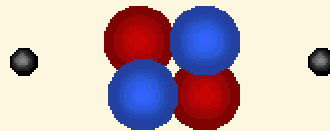
- **Realismo:** os objetos do mundo físico existem independentemente da consciência humana.
 - (Bohr): MQ somente provê previsões probabilísticas quando medimos os eventos individuais.
 - (Realismo de Einstein): as entidades têm propriedades independentemente de serem medidas.
 - **Localidade:** não pode haver influência instantânea entre dois “elementos de realidade” separados espacialmente.
 - **Separabilidade:** objetos separados espacialmente possuem seus próprios estados individuais: constituem realidades físicas distintas.
 - **Realismo Local:** se A e B são separados, então pode-se efetuar medidas em B que não afetem A de forma alguma. (realismo + localidade)
-

- A característica fundamental da mecânica quântica -cf. Schrödinger : *superposição (entanglement)*
- *Dois (ou mais)* objetos quânticos formam um sistema físico “inseparável” (não fatorável)



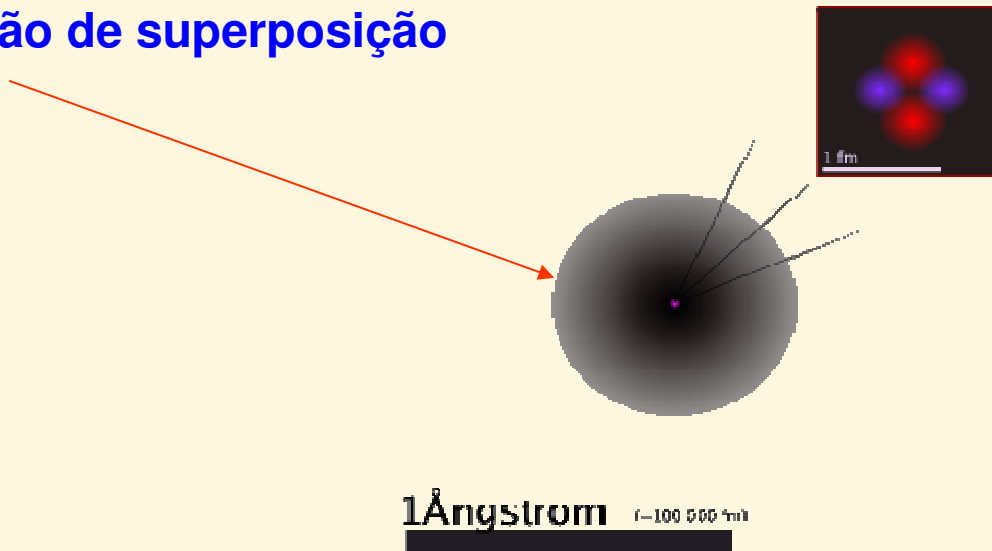
Erwin Schrödinger
(1887-1961)

Representação “escolar” do átomo de Helio



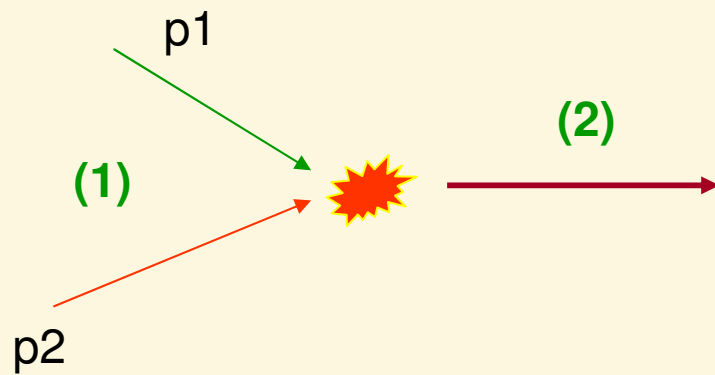
- Representação um pouco mais real do He: superposição dos elétrons

Região de superposição



superposição

- Colisão de dois micro-sistemas
- Antes: função de onda “fatorada”: cada um tem suas características individuais
- Depois: função de onda não-fatorável: perdem sua individualidade e não podem ser pensados como indivíduos:



Em (1): $|1,p1\rangle |2,p2\rangle$

sistemas “individuais”

Em (2): $|1,p1\rangle |2,p2\rangle + |1,p2\rangle |2,p1\rangle$

Eles não têm mais “propriedades isoladas”

Revisão simplificada

- **Realismo:** sistemas físicos têm propriedades mesmo antes de serem medidas.
- **Localidade:** medir uma propriedade P do sistema A não interfere nas propriedades do sistema B .
- **$R + L =$ teorias realistas locais**

Mecânica Quântica

- John S. Bell (1964): desigualdades ($A \leq B$) obtidas em uma teoria realista local
 - Violadas pelas previsões da MQ
 - MQ é contra o realismo local.
 - Podem ser testadas em laboratório
 - A. Shimony: 'metafísica experimental'
-
- Realismo + Localidade $\Rightarrow \neg$ MQ



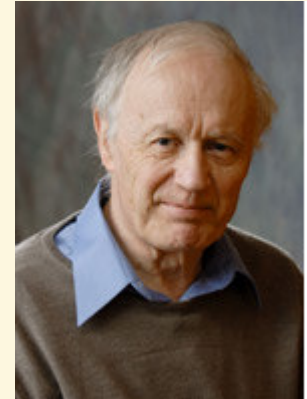
John S. Bell
(1928-1990)

Alguns experimentos

- 1972 (Berkeley): a favor da MQ
- 1973 (Harvard): a favor das desigualdades (contra MQ)
- 1974 (Catania, IT): a favor das desigualdades
- 1975 (Columbia, NY): a favor da MQ
- 1976 (Berkeley): a favor da MQ
- 1976 (Texas): a favor da MQ
- 1976 (Saclay, FR): a favor da MQ
- 1982 (Orsay, FR): a favor da MQ (mais rigoroso: A. Aspect)
- 1999 (Innsbruck, AU): a favor da MQ
- 2001 (Colorado, EUA): a favor da MQ
- Daí para frente, só MQ
- Para preservar a localidade, é preciso abandonar o realismo local.
- Realismo ou localidade?

Antony Leggett 2003

- Desigualdades de Leggett: em teorias realistas não-locais
- Comprovadas experimentalmente.
- Abandonar somente a localidade não basta.
- É preciso abandonar certas características intuitivas do realismo.
- (realismo físico: os resultados das observações são consequência de propriedades possuídas pelos sistemas físicos –independentemente de se as medimos ou não).
- MQ: as propriedades só “existem” quando medidas
- (excelente tema para o filósofo)



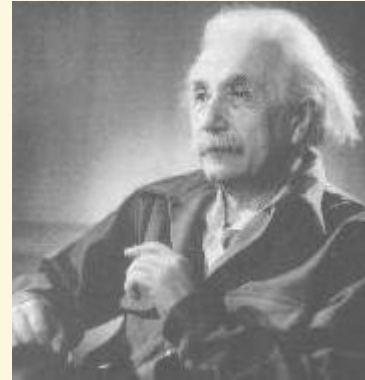
Anthony J. Leggett
(1938--) Nobel 2003

Muito cuidado aqui!

“A lua não está lá quando não estamos olhando para ela?” (dito a A. Pais)

David Mermim : (devido à MQ, nós agora “sabemos” que a Lua não está lá quando não estamos olhando! –**isso faz sentido somente para sistemas microscópicos**)


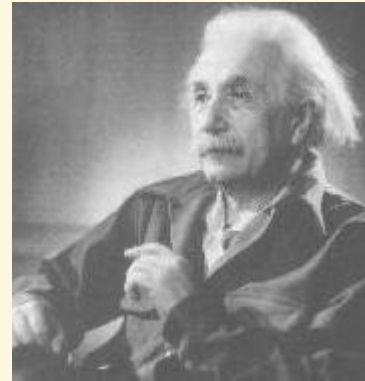
Nunca tomar essas afirmações literalmente!



A handwritten signature of Albert Einstein in cursive script, reading "A. Einstein".

Separabilidade

- Sistemas físicos “separados” constituiriam “realidades físicas distintas” (Einstein)
- Se a MQ contraria o realismo local, a idéia de separabilidade deve ser afastada?
- A separabilidade seria um princípio de individualidade...
 - Mas as teorias físicas ‘falam’ de objetos, inclusive a MQ: partículas, ondas, campos,...
 - Aparentemente, o comprometimento da teoria sugere uma *outra ontologia*: de entidades destituídas de individualidade.
 - Devemos afastar os preconceitos decorrentes de uma metafísica de indivíduos e da linguagem dela advinda.



- “**Physical theories are about things**”
(Sunny Auyang, 1995)
- Ainda parece permanecer uma espécie de separabilidade (metafísica?), quando consideramos a propriedade (ou relação)
“x está superposto com y”
- Podemos indagar:
- O que está superposto com o quê?
- O discurso é ainda sobre **objetos**, apesar de poderem ser supostos *não-indivíduos*.

Sejam quais forem as ‘entidades’ das quais tratam as teorias físicas, e se (como na QFT) não mais haja ‘partículas’,

o sorriso do objeto físico

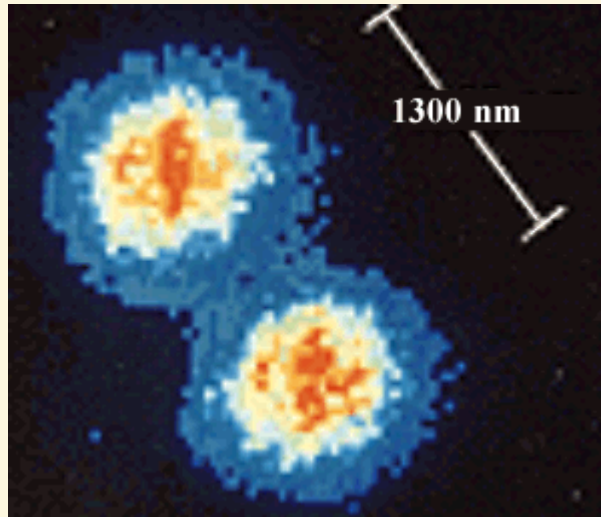
permanece (ainda fazemos referência a ‘objetos físicos’ de algum tipo)

“the particle concept was not given up”
(Falkenburg 2007)

(não é o conceito clássico de partícula)



Dois quanta



São indivíduos esses *objetos*?

1 nm = 10^{-9} m = 0,000000001 m
(um bilionésimo de metro)

Luz visível: 400 nm – 700 nm

1000 nm = 1 μ

O que são indivíduos?

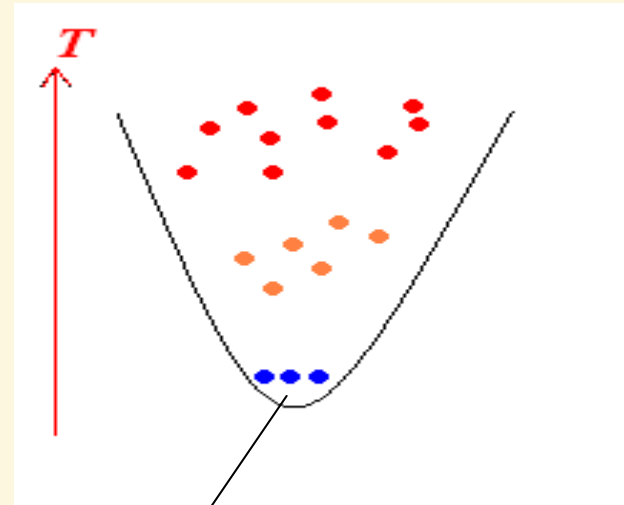
Podem ser sempre discernidos de outros, mesmo que semelhantes, etc.

Podem ser re-identificados como sendo “aqueles” de outra situação, etc.

Entidades que obedecem à lógica e à matemática clássicas?

BECs: Condensados de Bose-Einstein

- A temperaturas muito baixas, a maioria dos átomos está no mesmo estado quântico.

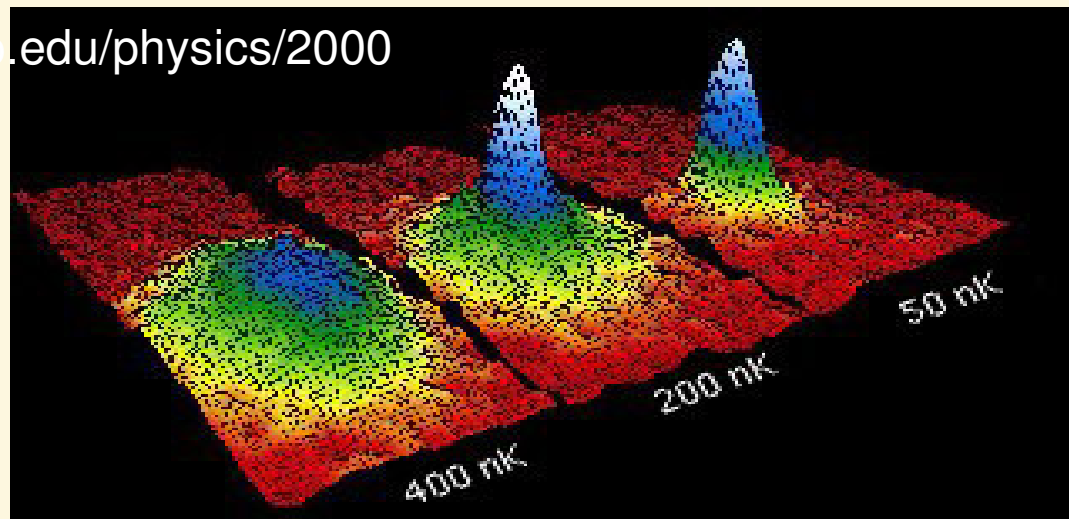


Estes átomos são absolutamente idênticos.
Não há o que possa individualizá-los.

BECs- condensados de Bose-Einstein

- Wieman e Cornell (1994): congelaram átomos até próximo do zero absoluto (menos de 500 pK = picoKelvin, 10^{-12} K <http://physicsweb.org/articles/news/7/9/8>)
- Podemos ‘pesar’ um BEC e determinar o *número de quanta* que há nele (há um *cardinal*- pelo menos para *cardinais pequenos*).

www.colorado.edu/physics/2000

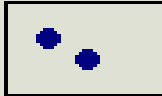
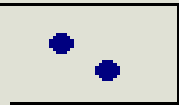




As 'estatísticas'

Maxwell-Boltzmann

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>prob.</i>
<i>a b</i>		$1/4$
	<i>a b</i>	$1/4$
<i>a</i>	<i>b</i>	$1/4$
<i>b</i>	<i>a</i>	$1/4$

Bose-Einstein

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>prob.</i>
		$1/3$
		$1/3$
		$1/3$

Não-indivíduos

O 'truque' matemático: condições de simetria

<i>Bose-Einstein</i>		
A	B	prob.
••		1/3
	••	1/3
•	•	1/3

Permutações não conduzem a estados distintos

$\Psi_{ab} = \Psi_A(a) \cdot \Psi_A(b)$

$\Psi_{ab} = \Psi_B(a) \cdot \Psi_B(b)$

$\Psi_{ab} = 1/\sqrt{2} (\Psi_A(\mathbf{a}) \cdot \Psi_B(\mathbf{b}) + \Psi_A(\mathbf{b}) \cdot \Psi_B(\mathbf{a}))$

(função simétrica –invariante pela troca de índices –que identificam)

Permutações não são observáveis.

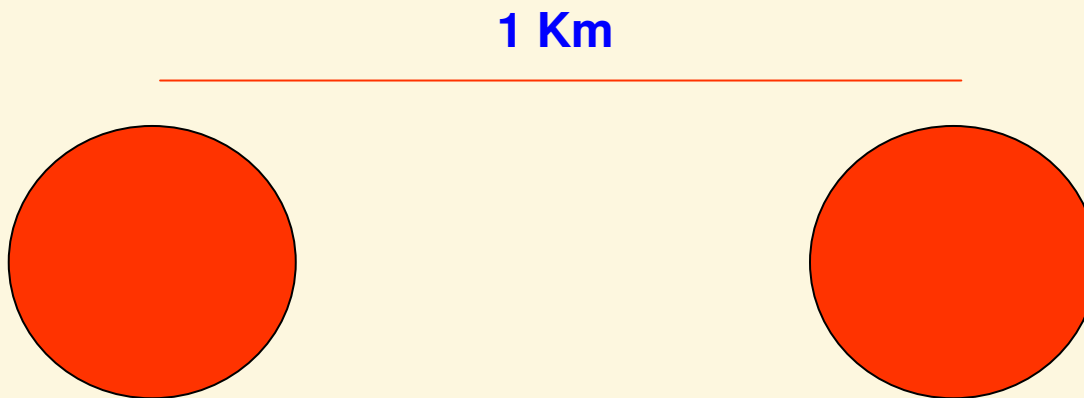
$\langle \psi | Q | \psi \rangle = \langle P\psi | Q | P\psi \rangle$

O Postulado da Indistinguibilidade

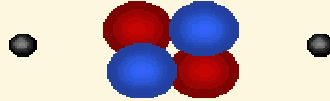
B-E dentro do formalismo

- Os rótulos inicialmente atribuídos são desconsiderados mediante escolhas adequadas dos vetores relevantes (simétricos e anti-simétricos).
- A individualidade (atribuída pelos índices) é *perdida*.
- Isso só faz sentido se houver algo a perder:
- *A individualidade*.
- S. Saunders (2006): são relacionais: há uma relação irreflexiva que se aplica a eles

- Simon Saunders (2006) – filósofo de Oxford
- As duas esferas de M. Black: exatamente iguais
- “...separada por 1 Km de...” (relação irreflexiva)
- Mesmo assim não dá para dizer que são *indivíduos*.
- Uma permutação conduz às mesmas medidas.
- (tema para o filósofo)



O átomo de He em seu estado fundamental



- O Hamiltoniano para o átomo de Helio: rotulamos as partículas y e depois fazemos uso de condições de simetria.

$$H = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_1^2 - \frac{2e^2}{r_1} \right) + \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_2^2 - \frac{2e^2}{r_2} \right) = 2H_0 \quad (Z = 2).$$

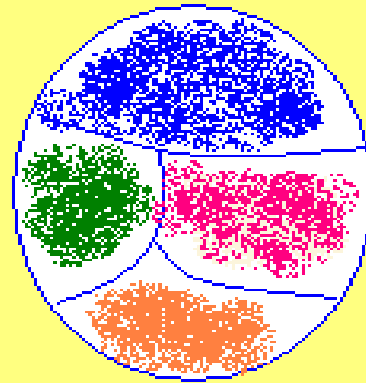
- (E. Merzbacher, *Quantum Mechanics*, 2nd. Ed., John Wiley, 1970, pp. 442-3)
 - “The coordinates of the electrons are labeled 1 and 2 under the provisional assumption that the particles are in principle distinguishable. Of course, we know that this assumption is false but (...) with this assumption we can obtain the entire spectrum of the two-electron system.”

- Heinz Post (1963) “a não-individualidade deve ser suposta desde o princípio: “*right at the start*”.
 - Por que deveríamos ter *indivíduos* inicialmente para fazer (com os recursos da simetria) sua individualidade ser *perdida* depois?
 - A indistinguibilidade deve ser um conceito primitivo: não há individualidade a ser *perdida*.
 - Esta é a idéia a ser perseguida:
 - Uma teoria de objetos indiscerníveis *ab initio*.
-

Hermann Weyl (1949)

- *(Na teoria de conjuntos padrão)*
- **S é um conjunto (coleção de objetos distintos uns dos outros)**
- **$\text{card}(S) = n$**
- **\sim relação de equivalência sobre S**
- **$S/\sim = \{C_1, \dots, C_k\}$, C_i : estados possíveis**
- **$n_1 + \dots + n_k = n$ (decomposição ‘ordenada’)**
- **“os elementos de S são caracterizados completamente pela classe de equivalência à qual pertencem (...) Não há necessidade de diferenciação por meio de rótulos” (Weyl 1949: 240).**

- A idéia básica é termos somente a quantidade de elementos em cada estado, sem individualizá-los.



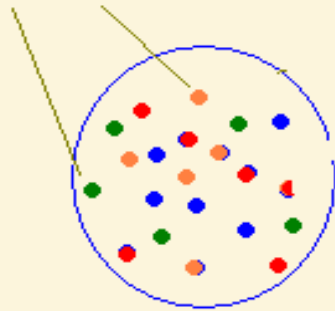
$$n_1 + \dots + n_k = n$$

Weyl

Parte “esquecida”

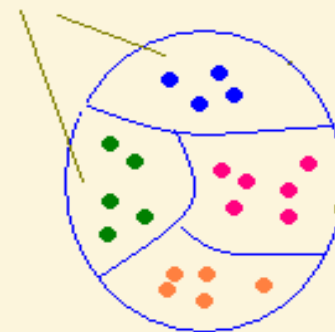
MQ pretende
começar daqui

individuals

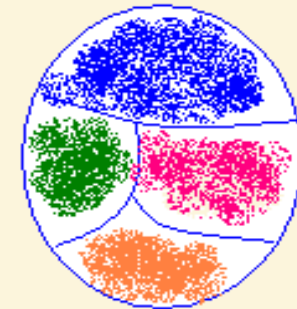


1st step: the set S
 $\text{card}(S) = n$

equivalence classes



2nd step the set S/\sim
 $S = C_1 \cup \dots \cup C_k$



*3rd step: the
individuality 'is lost'*
 $n_1 + \dots + n_k = n$

Pressupostos assumidos inicialmente –
de que as coleções são *conjuntos* e que
seus elementos são *indivíduos*-- devem ser
ignorados.



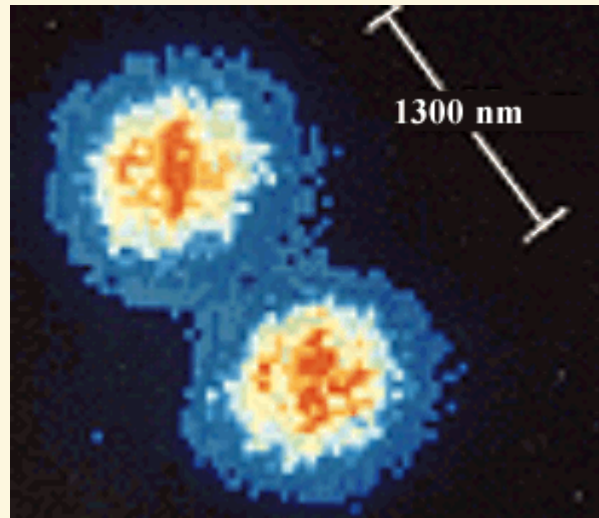
Objecções?

(opinião possível de algum crítico)

- A MQ não é mais usada: hoje temos as teorias quânticas de campos (QFT) ou outras (supercordas, ...)
- Nas QFT, não há indivíduos: partículas seriam certas *singularidades*, “*epifenômenos*” (Falkenburg 2007).
- (F. Rohrlich, 1999) – físico da Syracuse Un., NY
- “Não é mais significativo sustentar que o mundo é *realmente* como a QFT diz que ele é, do que dizer que ele é como a MQ sustenta. A QFT é apenas um outro nível de conhecimento e não é o último [definitivo] – se é que há um último.”

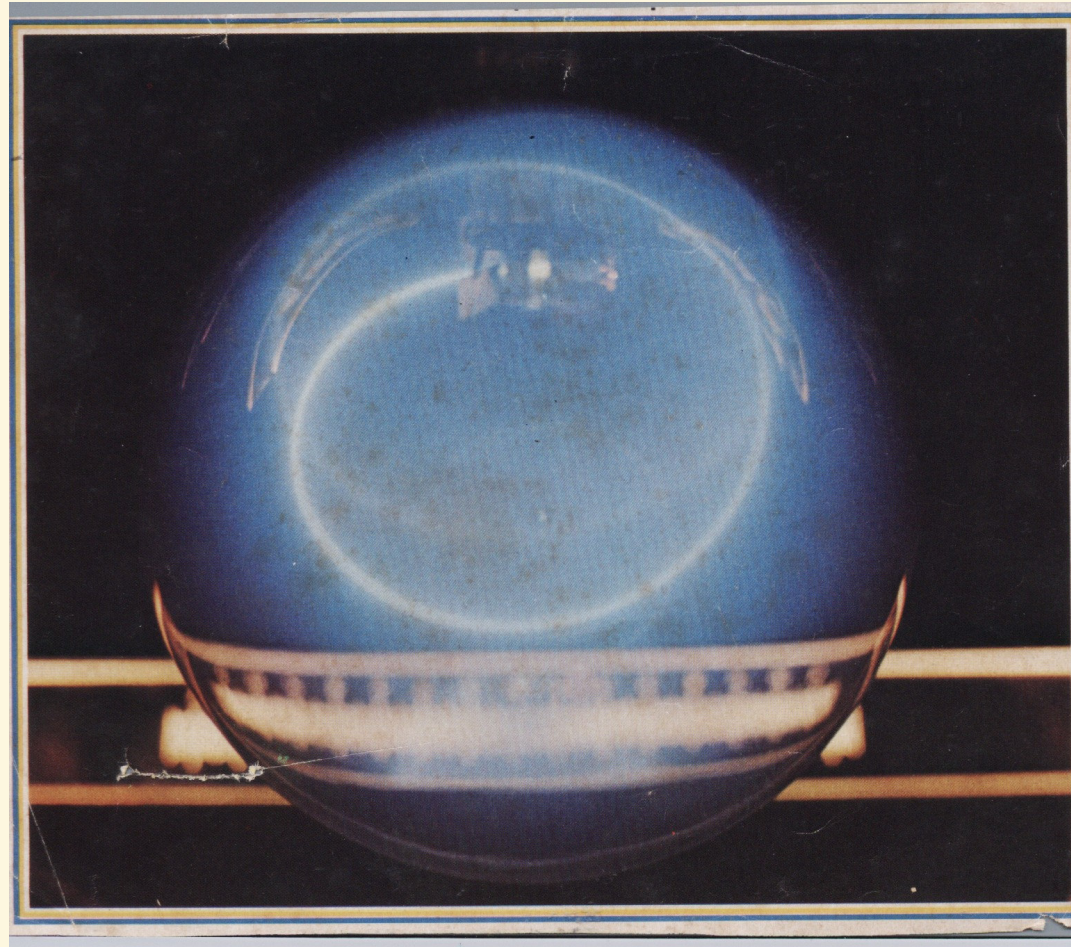
- As teorias (ao menos parcialmente) *dão conta da realidade* (que em uma primeira aproximação supomos existir)
- Porém, o físico ainda trabalha com partículas: “the particle concept was not given up” (B. Falkenburg, *Particle Metaphysics*, 2007, p. 209)
 - Para Falkenburg, partículas são fenômenos experimentais e não entidades fundamentais nas **QFT**.
- Modelo padrão, teoria das cordas, supercordas, membranas, gravitação quântica ... Qual a teoria ‘definitiva’?
 - Não basta afastar a MQ em prol das QFT. O físico *usa a MQ*.
 - Os problemas (de individuação) aparentemente persistem.

Dois Quanta Armadilhados



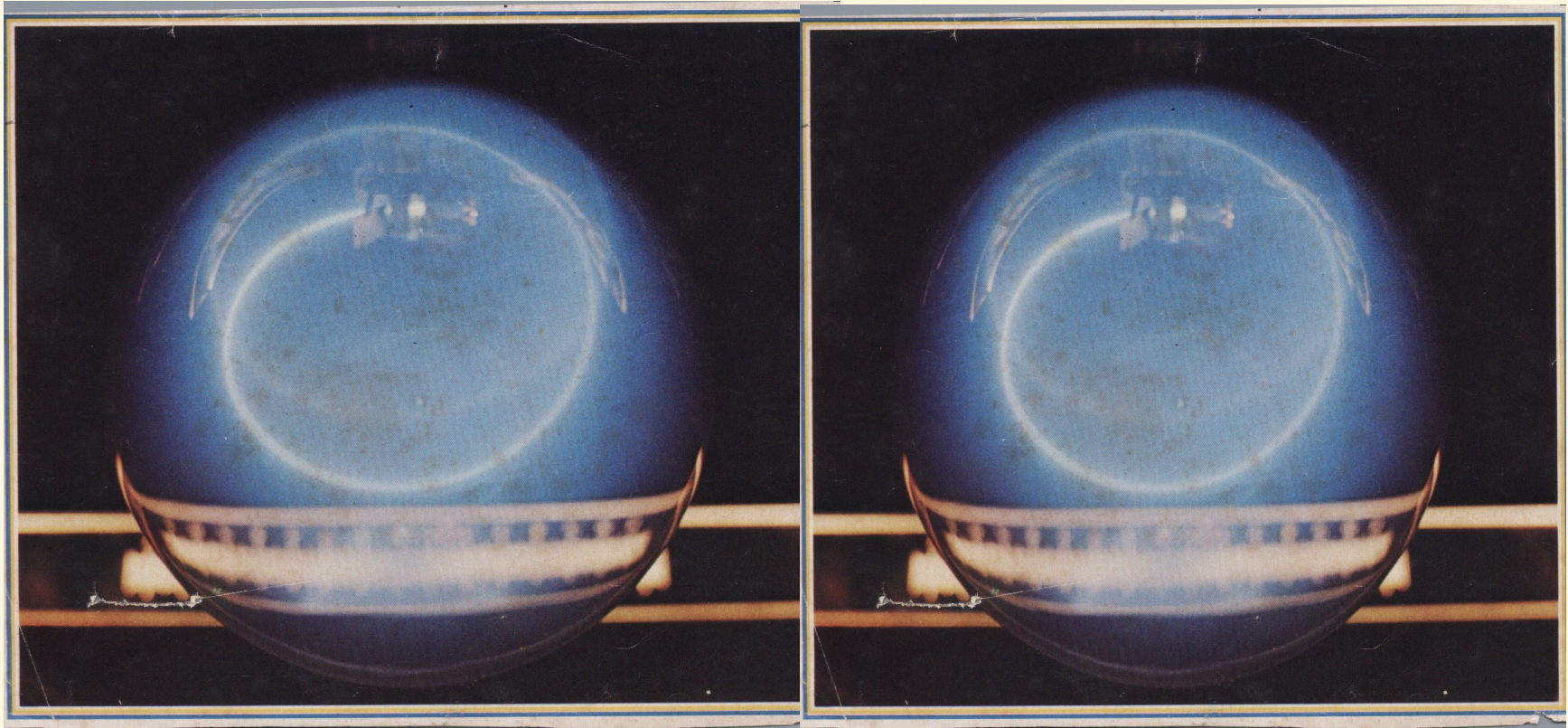
São *realidades físicas* distintas?
A noção usual de *espaço* se aplica nessas situações?

Um elétron preso por um campo magnético:
Podemos chamá-lo 'Priscilla', como fez
Hans Dehmelt com um pósitron?



O experimento feito duas vezes

Ambos são Priscilla? Há alguma diferença?



Identificação por localização espaço-temporal: não resiste a desfazer e fazer de novo o experimento ou a trocar de posição nos aparatos (supostamente idênticos).

Matrix Reloaded

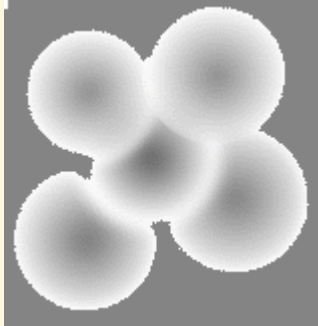


Os Smiths



Neo e os Smiths.

Similaridades?



Átomos a
temperaturas muito
baixas.

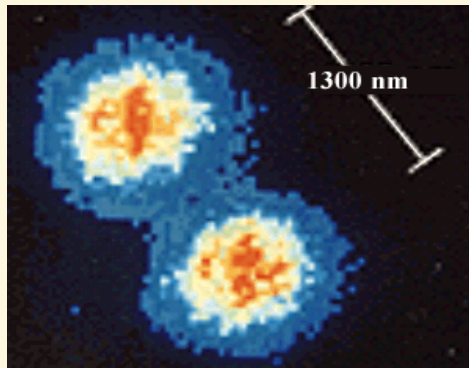
A diferença é que os Smiths podem ser rotulados, como por uma gravata de outra cor.)



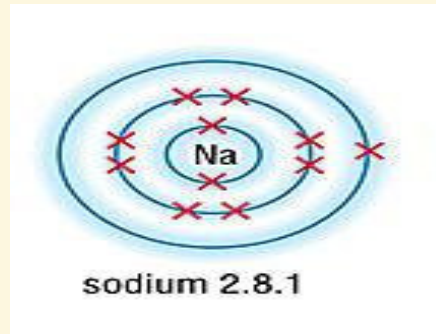
Os Smiths

Schrödinger”: “Não podemos marcar um elétron, não podemos pintá-lo de vermelho (1953).”

Coleções de quanta e seus cardinais



Card = 2



Átomo de sódio (Na)
com
11 elétrons.



Dois átomos de H
partilham *dois* elétrons:
qual é de qual?

<http://web.jjay.cuny.edu/>

Problema: para grandes quantidades de “partículas” e quando envolvemos altas energias. Nesses casos, parece que este modelo não se aplica (não dá para determinar um número cardinal).

No entanto, para outras situações, ele se aplicaria, como quando falamos que em um átomo de sódio (Na) há 11 elétrons, ou que um átomo de potássio (K) tem 19 elétrons, muitas vezes sem que possamos distinguí-los.

“Conceitos Antigos”

- A lógica clássica, a matemática e mesmo a mecânica clássica estão em boa parte fundamentadas em nossas experiências com objetos *clássicos*
 - “...a mecânica clássica, sua linguagem e sua lógica não poder ser a base para uma interpretação adequada da mecânica quântica.” (Mittelstaedt, 2003)
-

Lógica e Física

- 1900: 23 Problemas da Matemática (Hilbert)
- Prob.6: axiomatização das teorias físicas
- 1974 AMS *Conference on the Hilbert Problems*
- Nova Lista de Problemas:
 - Problema 1: (Yuri Manin) – encontrar axiomas para tratar de coleções de quanta, que não são *conjuntos* na acepção usual. (não obedecem aos axiomas das teorias usuais de conjuntos)



David Hilbert
(1862-1943)

Postulados de uma teoria

- postulados específicos da teoria
(Exemplo: Axiomas para Grupos, ou de alguma versão da mecânica quântica - Mackey)
- postulados 'matemáticos' (de uma teoria de conjuntos ou de uma fração dela) –ZF (ou outra teoria adequada)
- postulados 'lógicos' – e.g., a lógica elementar clássica (quais inferências são lícitas?)

Lógica e matemática clássicas

- Lei de Leibniz é válida: objetos indiscerníveis são idênticos (são *o mesmo* objeto)
- Conjuntos são coleções de objetos *distintos* uns dos outros
- Indistinguibilidade é tratada mediante hipóteses *ad hoc*, como postulados de simetria (*permutational symmetry*)
- De acordo com uma “Ontologia Clássica”

Objetos quânticos

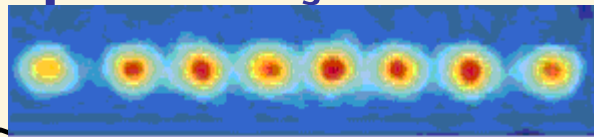
- O discurso sobre ‘*objetos* quânticos’ aparece sempre: *dois* ions armadilhados
- Têm propriedades (massa, carga elétrica...)
- Há situações em que não podem ser individualizados: superposições.
- Não podem receber ‘nomes’ no sentido usual.
- **Não têm identidade** (Schrödinger)
- Como falar deles?

Mecânica Quântica e Linguagem

- Yuri Manin: MQ não tem sua *própria* linguagem
- Faz uso de um fragmento da linguagem da análise funcional clássica (teoria dos espaços de Hilbert)
- Logo, faz uso de uma teoria de conjuntos
- E da lógica clássica
- Schrödinger: a linguagem que usamos, vinda a mecânica clássica, não é adequada.
- Problema: encontrar uma L para falar de entidades *ab ovo* indiscerníveis.

Não-Indivíduos

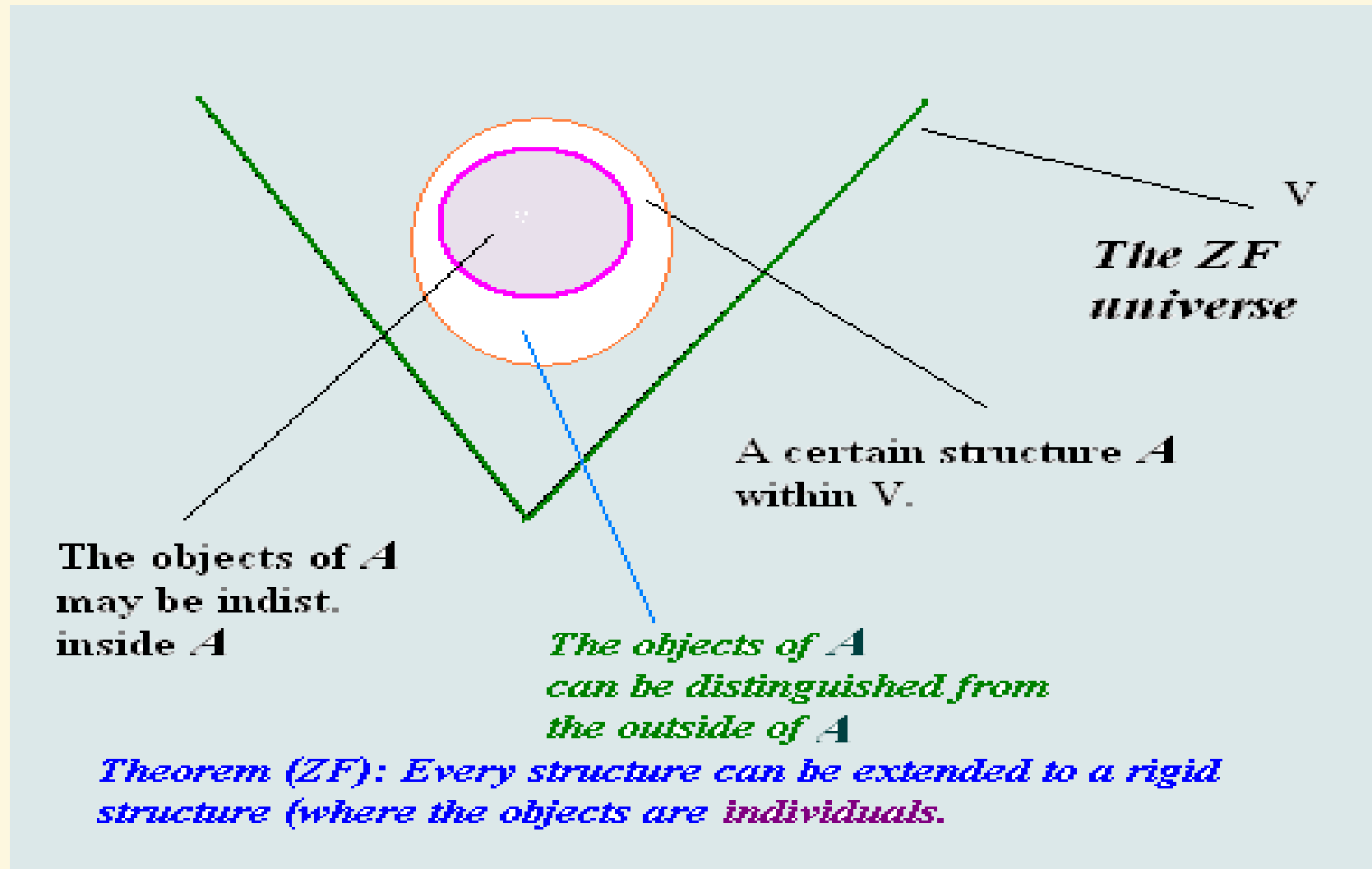
- Não podem ser distinguidos uns dos outros
- Não comportam nomes: ('Priscilla' é um '*mock name*')
- Não podem ser ordenados: qualquer "fila" é igual a outra obtida por permutações



- Algumas coleções podem ter um cardinal, mas não um ordinal
- Mesmo assim podemos falar em *dois* não-indivíduos, ainda que a teoria não os distinga (van Fraassen 1991)
- Lei de Leibniz (aparentemente) é derogada

'Matemática usual': o universo de ZF

$$E = \langle V, \in \rangle$$

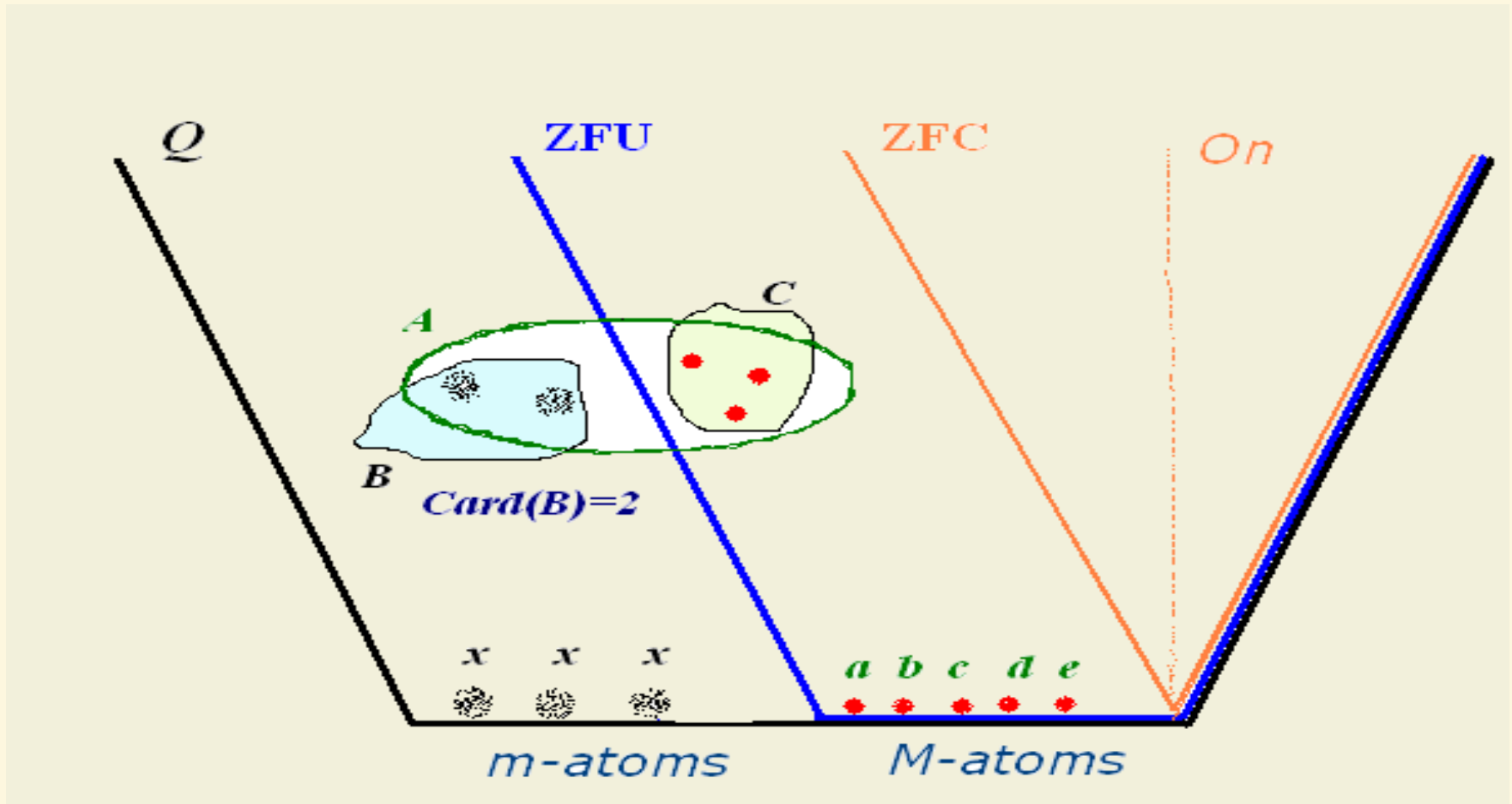


Exemplos:

- $E = \langle V, \in \rangle$ é uma estrutura rígida (o único automorfismo é a função identidade)
- Considere a estrutura $A = \langle \mathbb{Z}, + \rangle$ em ZF.
- Os únicos automorfismos de A são a função identidade e $f(x) = -x$
- De *dentro* de A , não podemos discernir entre 2 e -2, mas somente 'de fora' (em $E = \langle V, \in \rangle$)
- Podemos estender A a uma estrutura rígida (e.g., $A = \langle \mathbb{Z}, +, \{0\}, \{1\}, \{-1\}, \dots \rangle$) na qual todos os elementos de \mathbb{Z} são individualizáveis.
- *Teorema:* em ZF, toda estrutura pode ser estendida a uma estrutura rígida.

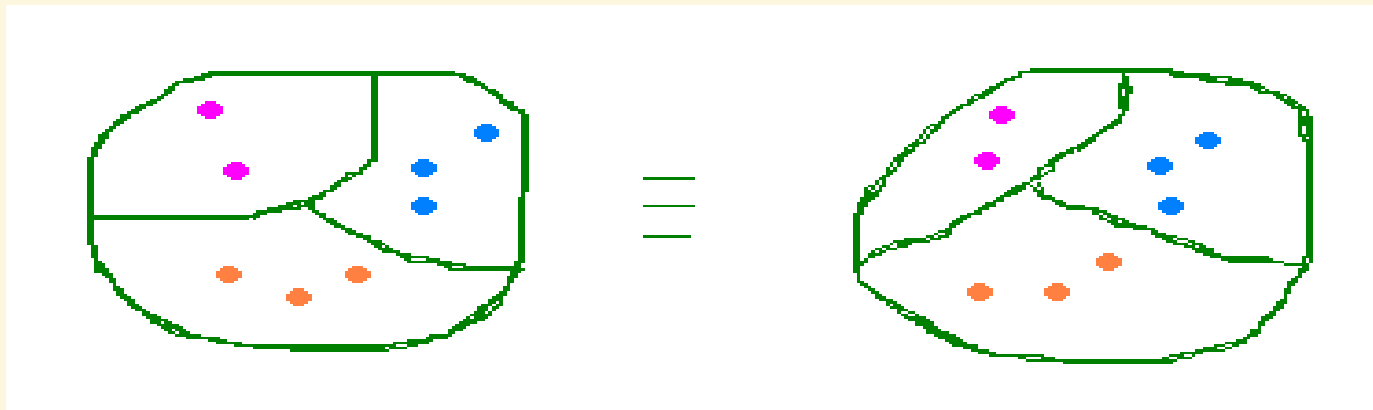
Uma estrutura para a MQ deveria ser tal que não pudesse ser estendida a uma estrutura rígida, o que não é possível em ZF.

Quase-conjuntos (qsets)



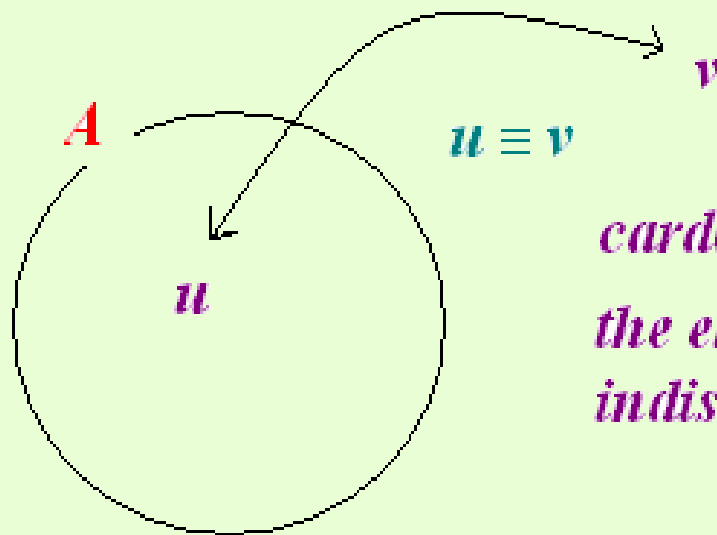
Extensionalidade 'fraca'

- Qsets com a *mesma quantidade* (mesmo cardinal) de elementos de mesma espécie (indiscerníveis) são indiscerníveis.
- O cardinal é dado axiomáticamente, e não definido a partir de ordinais, como usual.



Permutações (Permutational Symmetry)

'permutations' are not observable

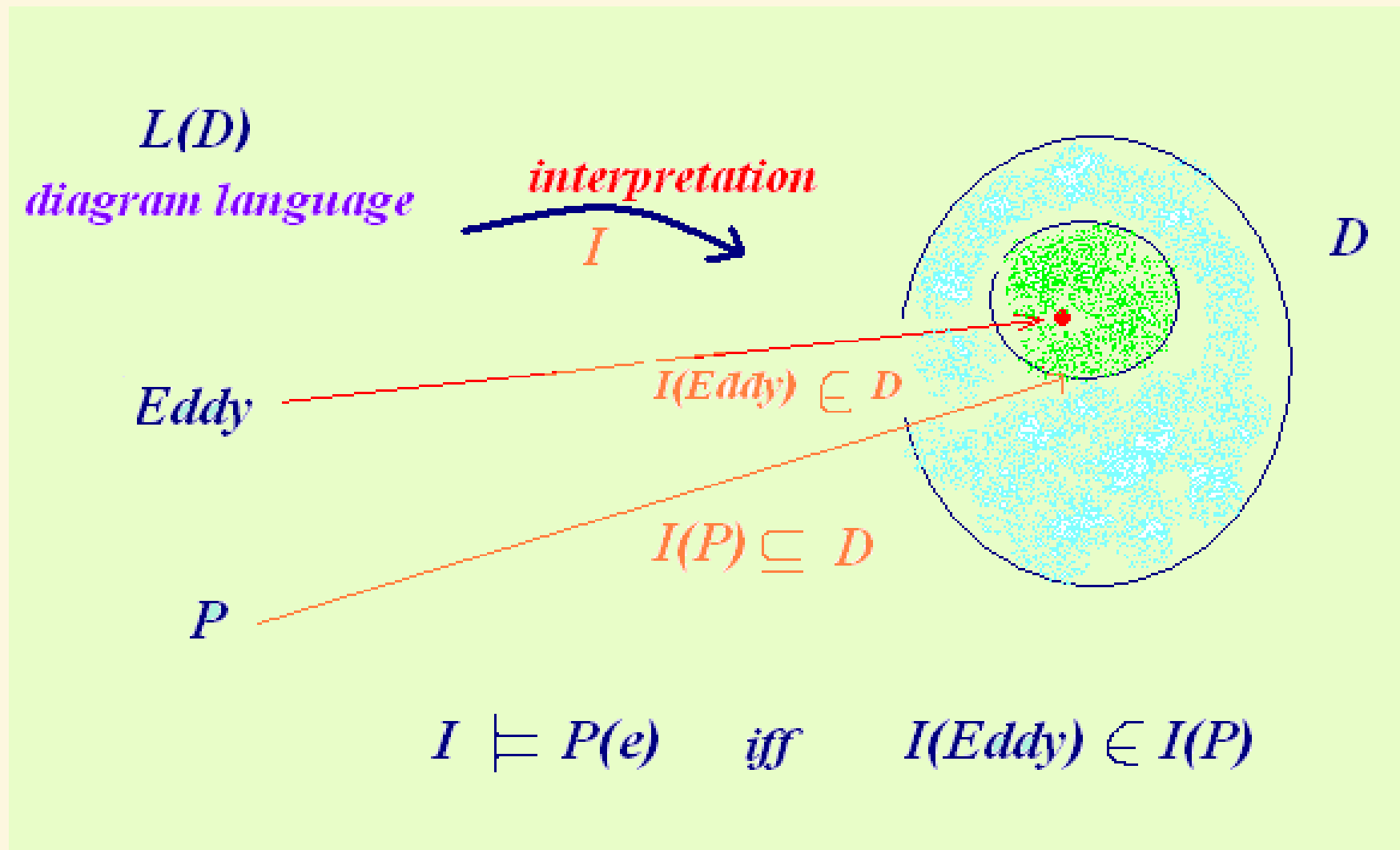


$$\text{card}(u') = 1 = \text{card}(v')$$

the element of u' (of v') is indistinguishable from u (from v)

$$(A - u') \cup v' \equiv A$$

Semântica 'Clássica'



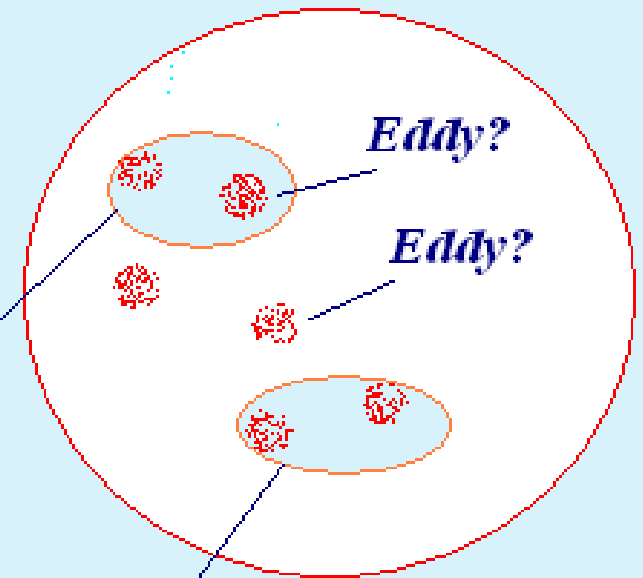
Semântica 'Quântica'?

$L(D) ??$

interpretation?

D is not a 'set'

- * *the elements of D have no names*
- * *the extension of P cannot be defined without ambiguity*

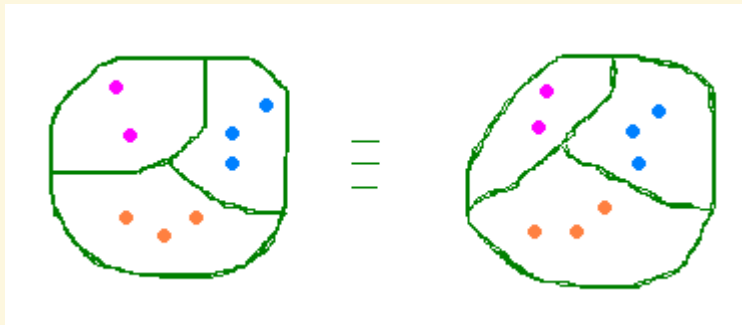


the extension of P ?

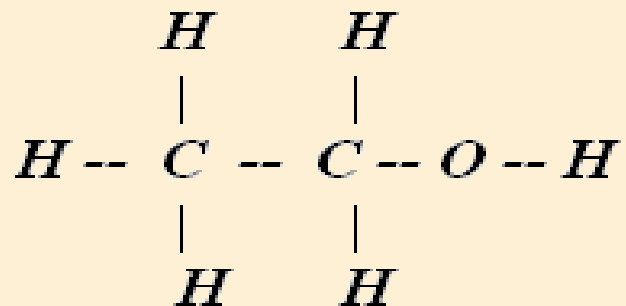
the semantical conception of truth does not apply here !!

the extension of P ?

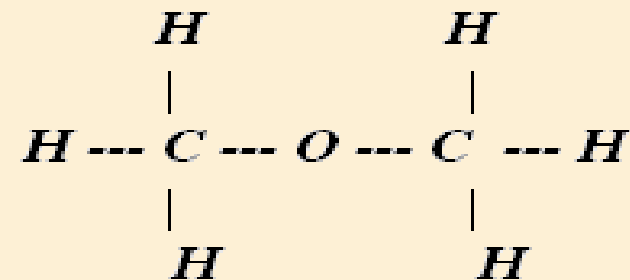
Outro problema: a Forma



Não basta tratar de
coleções de objetos:
Mereologia?



C_2H_6O
Ethylic Alcohol



C_2H_6O
Methylic Ether

Questões em lógica, 1

Há predicados *sharp* que não têm uma extensão bem definida: “ k elétrons com spin UP na direção x ”

Não se pode formar uma linguagem diagrama: os elementos do domínio não comportam nomes.

Qual o significado dos quantificadores?

(Existe um quanta assim e assim)

Quantificadores usuais parecem pressupor identidade.

Relações pressupõem a individualidade dos relacionados.

Dentro do sistema, podemos quantificar sobre não-indivíduos (Carnap: questões internas).

Dificuldade: questões externas (filosóficas)

Mais questões de lógica

- O platonismo de Gödel de que os axiomas de ZF são “verdadeiros” deve ser questionado?
- Deve-se buscar uma lógica e uma matemática mais condizentes com as intuições e resultados da MQ?
- Que modelo matemático (teoria) devemos usar para tratar de coleções ‘muito grandes’, às quais não se pode atribuir nem mesmo um número cardinal?

Resumindo

- Separabilidade significa que há coleções de objetos com cardinalidades maiores do que um (ainda que não possam ser determinadas).
- Apesar de não terem individualidade, esses objetos *contam* como *mais do que um*.
- Não sendo *a mesma entidade*, eles constituem realidades físicas distintas, ainda que não se possa distinguir entre as situações físicas com um e com outro após uma permutação.
- Uma “metafísica” de não-indivíduos? (*ersatz ontology*)
- Pode a teoria de quase-conjuntos capturar aspectos dessa metafísica?
- As teorias que usamos nada mais são que modelos matemáticos que se aplicam a parcelas da realidade e dentro de certas condições: são *quase-verdadeiras* (da Costa e French 2003).
- A teoria de quase-conjuntos é um desses modelos, não dando conta (como nenhuma outra teoria) da realidade *in totum*.

Há objetos quânticos?

- “(...) as pessoas rejeitam os objetos quânticos porque eles são diferentes, mas todos os seus argumentos mostram que o que não há no domínio quântico são objetos como os clássicos, não que não há objetos quânticos.”

(Auyang, S. Y. *How is quantum field theory possible?* Princeton Un. Press, 1995, p. 5)

Obrigado.

