
Separabilidade e Não-Individualidade

Décio Krause

Departamento de Filosofia

Univ. Federal de Santa Catarina-Brasil

Nov. 2005



Simposio Albert Einstein, Cali CO
28/11-02/12 2005

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, *The Dreams of a Final Theory*, p. 175)
 - **Fazemos isso por meio da elaboração de certos constructos matemáticos, nossas *teorias*.**
 - **As teorias (ao menos parcialmente) *dão conta da realidade* e referem-se a *objetos* de vários tipos.**
 - **Seria a questão da *ontologia* das teorias físicas um problema filosófico somente?**
 - **O que podemos dizer sobre o conceito de ‘objeto físico’?**
-

- “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 **nomologicos** (...) objetos nomologicos são descritos por leis físicas, ou, talvez, cada classe deles represente uma lei física.” (G. Toraldo di Francia, 1978)
-

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--)

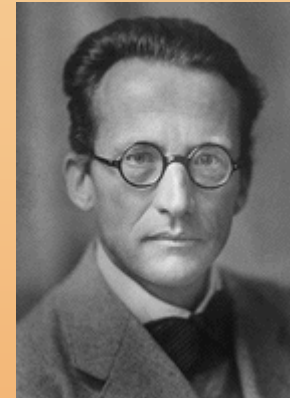
Resumo

- 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 (Schrödinger, Heisenberg, Born, Weyl).
 - Porém, a idéia de não-individualidade está em desacordo com a noção de **separabilidade**, a qual parece implicar individualidade.
- Sustentamos que, 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 realismo de Einstein

- **Realismo:** os objetos do mundo físico existem independentemente da consciência humana.
 - **Localidade:** nenhum sinal, comunicação ou influência pode se propagar com uma velocidade maior do que a da luz.
 - **Separabilidade:** objetos separados espacialmente possuem seus próprios estados individuais: constituem realidades físicas distintas.
 - (Hilgevoord 2004: apesar de tempo e espaço desempenharem papéis diferentes na MQ, não necessitam tratamento especial)
 - **Realismo Local:** se A e B são separados, então pode-se efetuar medidas em B que não afetem A de forma alguma.
-

- A característica fundamental da mecânica quântica ortodoxa cf. Schrödinger : *superposição (entanglement)*
 - $\Psi_{AB} = \Psi_A + \Psi_B$ não pode ser fatorada
 - *Dois* objetos quânticos separados formam um só sistema físico
 - (No entanto, não são *o mesmo* indivíduo)
-



Erwin Schrödinger
(1887-1961)

Mecânica Quântica

- **John S. Bell (1964): desigualdades ($A \leq B$) obtidas em uma teoria realista local**
 - **Constituem previsões acerca de experimentos que podem ser realizados em laboratório**
 - **A. Shimony: ‘metafísica experimental’**
 - **MQ: se certa, as desigualdades devem ser violadas: MQ é contra o realismo local.**
-



**John S. Bell
(1928-1990)**

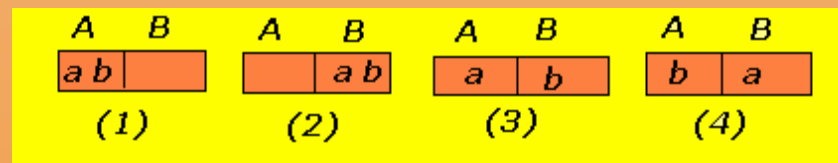
Alguns experimentos

- 1972 (Berkeley): a favor da MQ
- 1973 (Harvard): a favor das desigualdades
- 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
- Para preservar a localidade, é preciso abandonar o realismo local.
- Sim, mas só se assumirmos uma 'ontologia clássica'

‘Ontologia Clássica’

objetos físicos ‘clássicos’

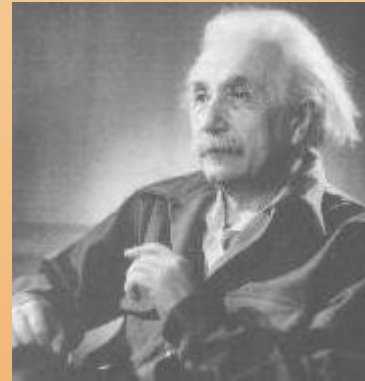
- Podem ser objeto de predicação: têm propriedades
- São *continuants* (têm *genidentity*)
- Podem ser distinguidos uns dos outros (ao menos espacialmente: Princípio de Impenetrabilidade)
- São *indivíduos*
- Podem ser ordenados, nomeados, contados
- Têm *identidade* (dada por alguma forma de substrato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



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

Separabilidade

- Se a MQ contraria o realismo local, a idéia de separabilidade deve ser afastada?
- 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.



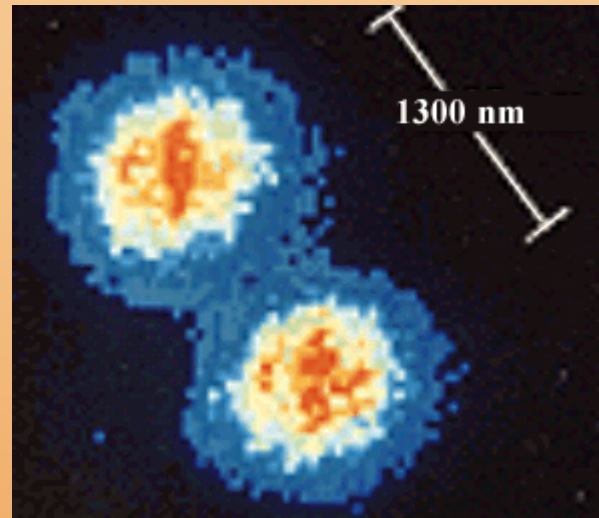
A. Einstein

- Ainda parece permanecer uma espécie de separabilidade, quando consideramos a propriedade (ou relação)

“x está emaranhado com y”

- Podemos indagar:
 - O que está emaranhado com o quê?
 - O discurso é ainda sobre **objetos**, apesar de serem não-indivíduos.
 - Como considerar ‘mais de um’ objeto sem individualidade?
 - Precisamos tentar formalizar esse conceito!

Dois quanta 'armadilhados' (trapped)



Que tipo de *objetos* são eles?

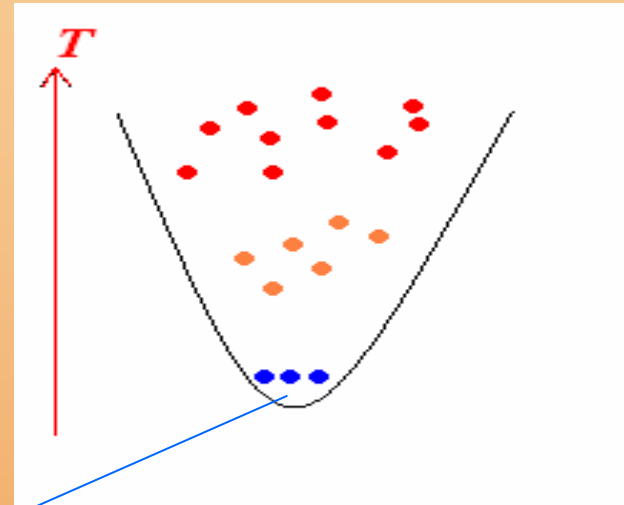
1 nm = 10^{-9} m (um bilionésimo de metro)

Luz visível: 400 nm – 700 nm

1000 nm = 1 μ

BECs: Condensados de Bose-Einstein

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

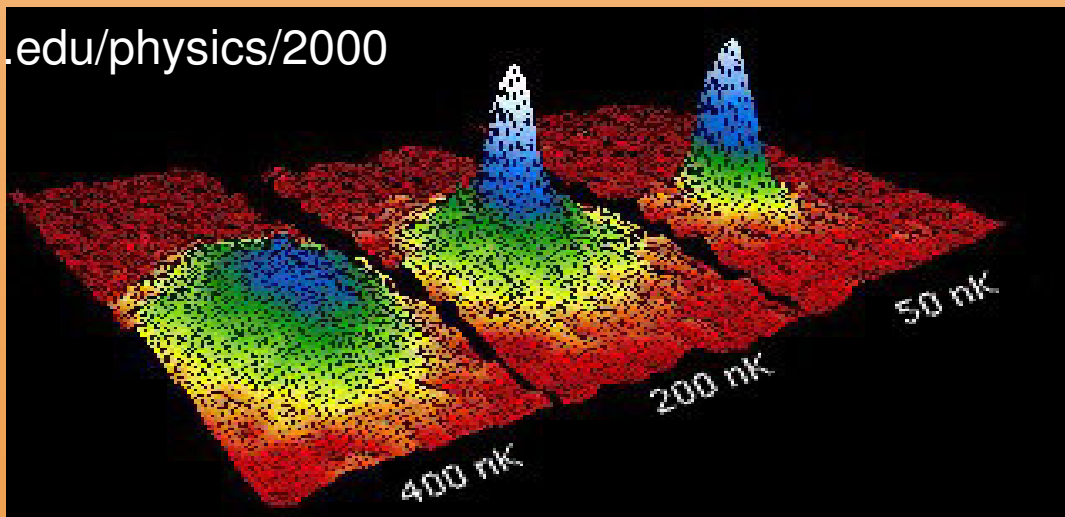


Estes átomos são absolutamente idênticos.
Não há qualquer medição que possa separá-los uns dos outros.

BECs

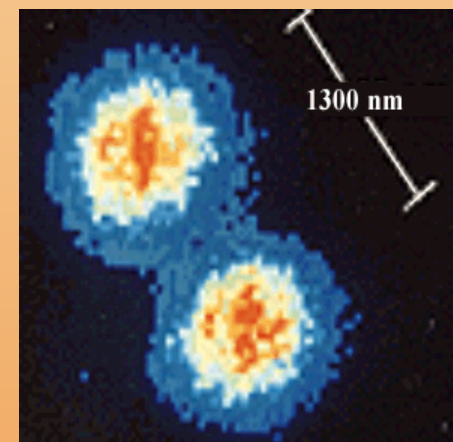
- Wieman e Cornell (1994): congelaram átomos até próximo do zero absoluto (menos de 500 pK = picoKelvin, 10^{-12} K <http://physicsweb.org/articles/news/7/9/8>)
- Podemos ‘pesar’ um BEC e determinar o *número de quanta* que há nele (há um *cardinal*- pelo menos para *cardinais pequenos*).

www.colorado.edu/physics/2000



MQ e Separabilidade

- **Realismo de Einstein (Princípio de Separabilidade):**
- *Objetos separados espacialmente possuem seus próprios estados individuais; constituem realidades físicas distintas.*
- **Princípio de Individuação (de sistemas físicos – Howard 1985)**
- **Mesmo sistemas emaranhados são formados por mais de um quanta (sem individualidade).**

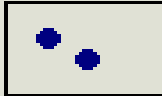
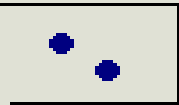




As 'estatísticas'

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

Bose-Einstein

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

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

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

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

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 é *perdida*.
- Isso só faz sentido se houver algo a perder:
- Sua *individualidade*.

A idéia

- 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.
-

Hermann Weyl (1949)

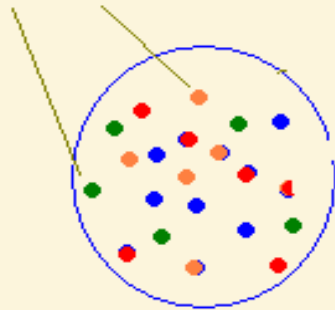
- *(Na teoria de conjuntos padrão)*
- S é um *conjunto* (coleção de objetos distintos uns dos outros)
- $\text{card}(S) = n$
- \sim relação de equivalência sobre S
- $S/\sim = \{C_1, \dots, C_k\}$, C_i : estados possíveis
- $n_1 + \dots + n_k = n$ (decomposição ‘ordenada’)
- “os elementos de S são caracterizados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

Weyl

Parte “esquecida”

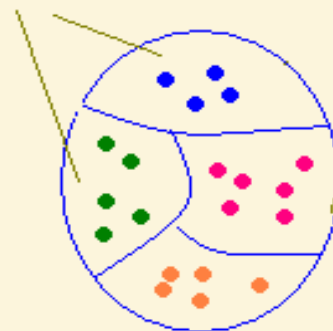
MQ pretende
começar daqui

individuals

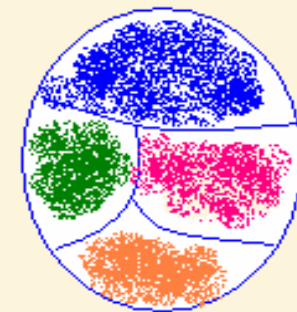


1st step: the set S
 $\text{card}(S) = n$

equivalence classes



2nd step the set S/~
 $S = C1 \cup \dots \cup Ck$



3rd step: the individuality 'is lost'
 $n1 + \dots + nk = n$

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 ortodoxa não é mais usada: hoje temos as teorias quânticas de campos (TQC) ou outras (supercordas, ...)
- Nas TQC, não há indivíduos: partículas seriam certas *singularidades*
- Modelo padrão, teoria das cordas, supercordas, membranas,.... Qual a teoria 'definitiva'?
- “Não é mais significativo sustentar que o mundo é *realmente* como a TQC diz que ele é, do que dizer que ele é como a MQ sustenta. A TQC é apenas um outro nível de conhecimento e não é o último [definitivo] – se é que há um último.” (F. Rohrlich, 1999).

Visão filosófica geral : teoria da quase-verdade

- Nossas teorias são aproximações, redes conceituais que lançamos sobre a realidade (que supomos existir).
- Cada uma capta aspectos dessa realidade, e se aplica restritamente.
- O seu conjunto fornece um maior entendimento do 'real'
- Não há critério bem definido que permita preferir uma abordagem a outra.

Mesmo assim...

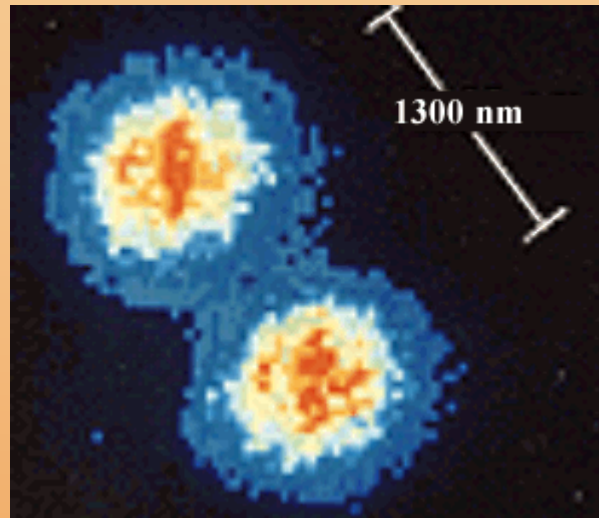
- “Physical theories are about things” (S. Auyang, 1995)
- Nosso discurso é sobre *objetos* de algum tipo
- (e.g., Física *de Partículas*)
- De que espécie de objetos estamos falando?
- Mesmo considerando ontologias alternativas (*ersatz-ontologies*), ainda precisamos falar em partículas quando respondemos questões como: “o que está emaranhado com o quê?”
- Se substituísimos as entidades básicas por campos ou outro conceito, o “sorriso da partícula” permanece (Redhead 1988)

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)

- --Alice: "Well! I've often seen a cat without a grin," thought Alice; "but a grin without a cat! It's the most curious thing I ever saw in all my life!"
- <http://www.webslingerz.com/jhoffman/chca t.html>

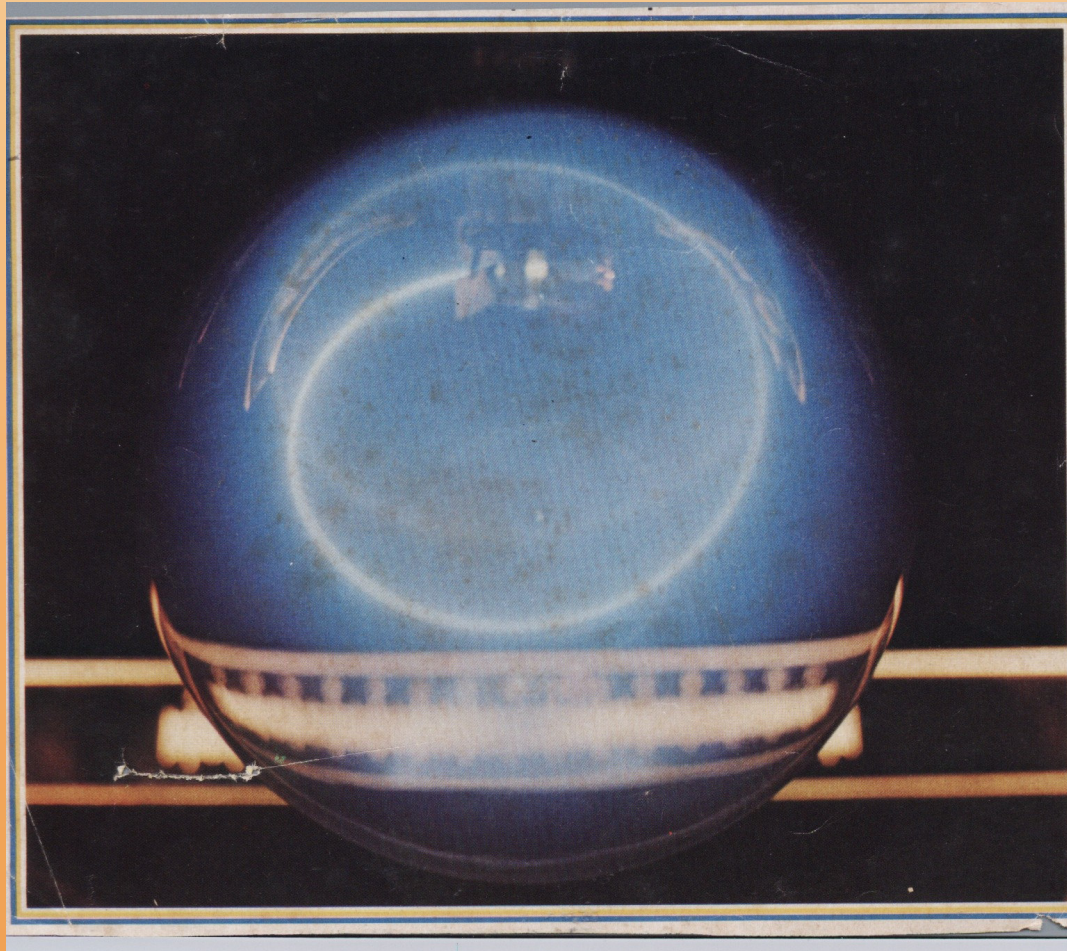


Dois Quanta Armadilhados



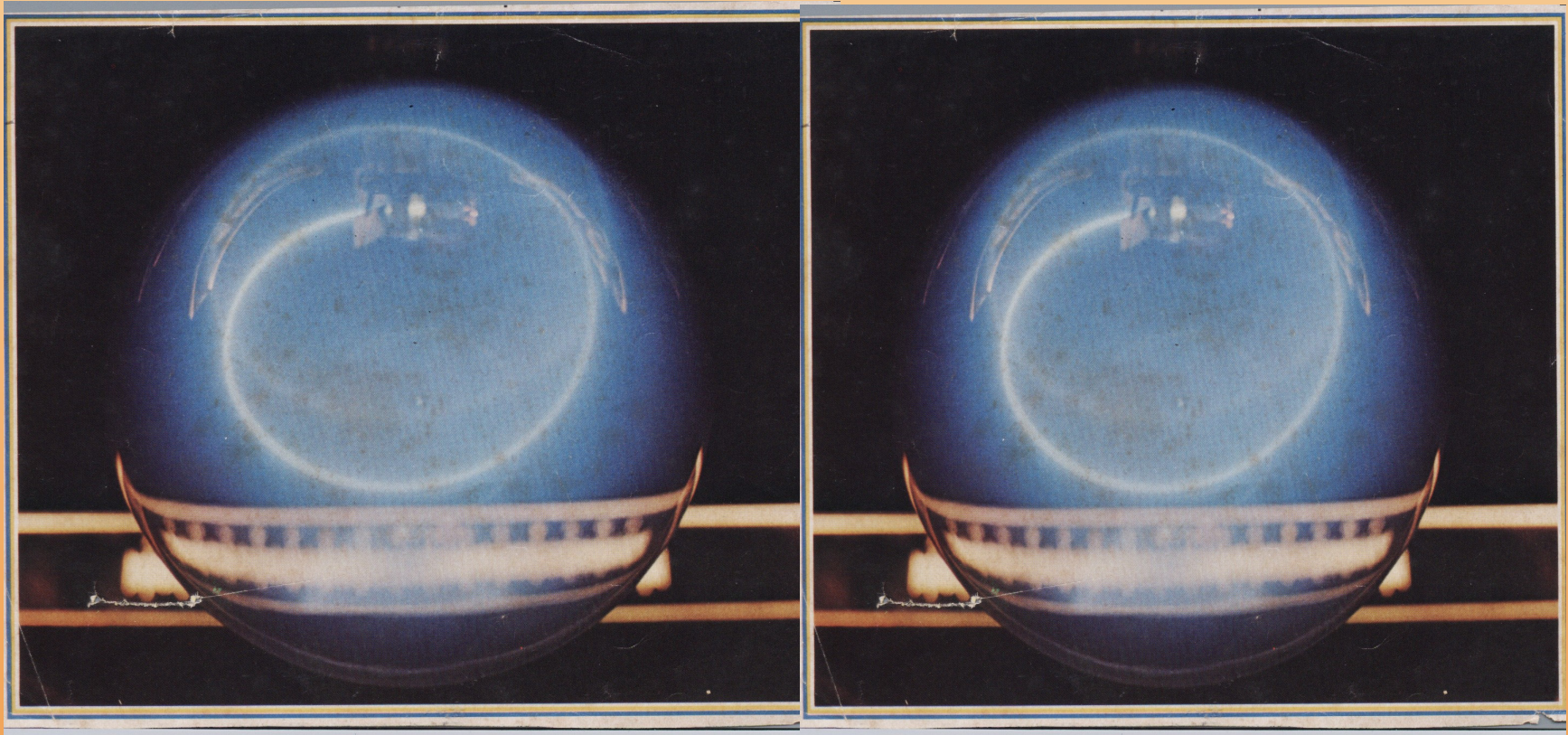
São *realidades físicas* distintas?
A noção usual de *espaço* se aplica nessas situações?

Um elétron preso por um campo magnético:
Podemos chamá-lo 'Eddy'?



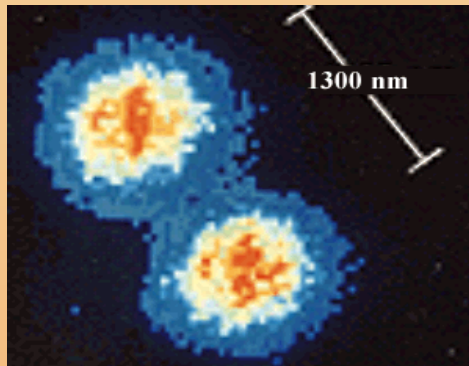
O experimento feito duas vezes

Ambos são Eddy? Há alguma diferença?

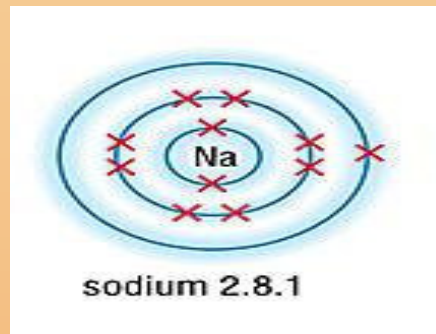


Identificação por localização espaço-temporal: não resiste a desfazer e fazer de novo o experimento

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 Atávicos”

- 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.” (P. 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.**



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...)
- Não podem ser individualizados
- Não podem receber ‘nomes’ no sentido usual.
- *Não têm identidade* (Schrödinger)

Mecânica Quântica e Linguagem

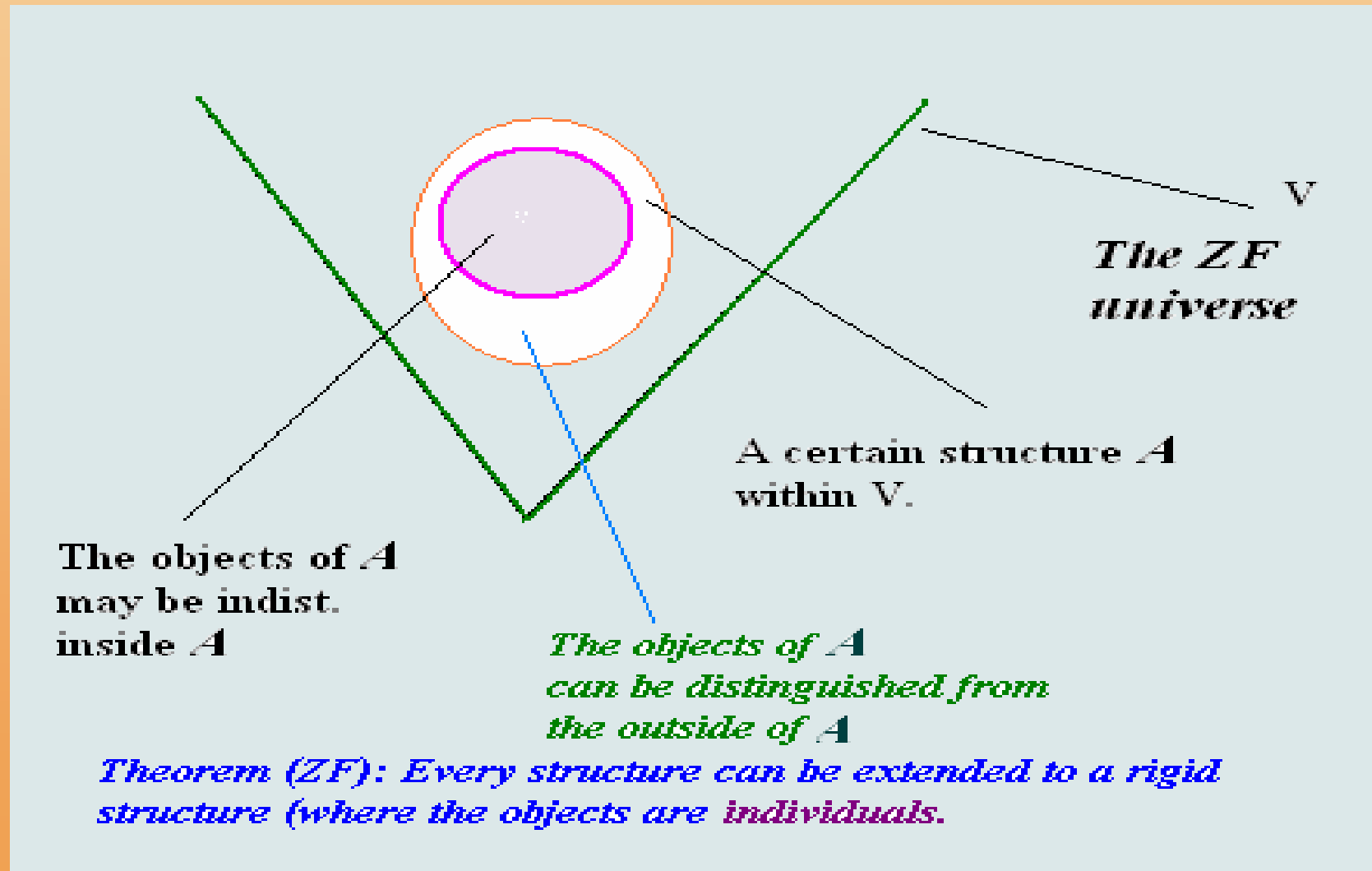
- Yuri Manin: MQ não tem sua *própria* linguagem
- Faz uso de um fragmento da linguagem da análise funcional clássica (teoria dos espaços de Hilbert)
- Logo, faz uso de uma teoria de conjuntos
- E da lógica clássica
- Schrödinger: a linguagem que usamos, vinda a mecânica clássica, não é adequada.
- Problema: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

Não-Indivíduos

- Não podem ser distinguidos uns dos outros
- Não comportam nomes: ('Eddy' é um '*mock name*')
- Não podem ser ordenados
- 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 derrogada

'Matemática usual': o universo de ZF

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

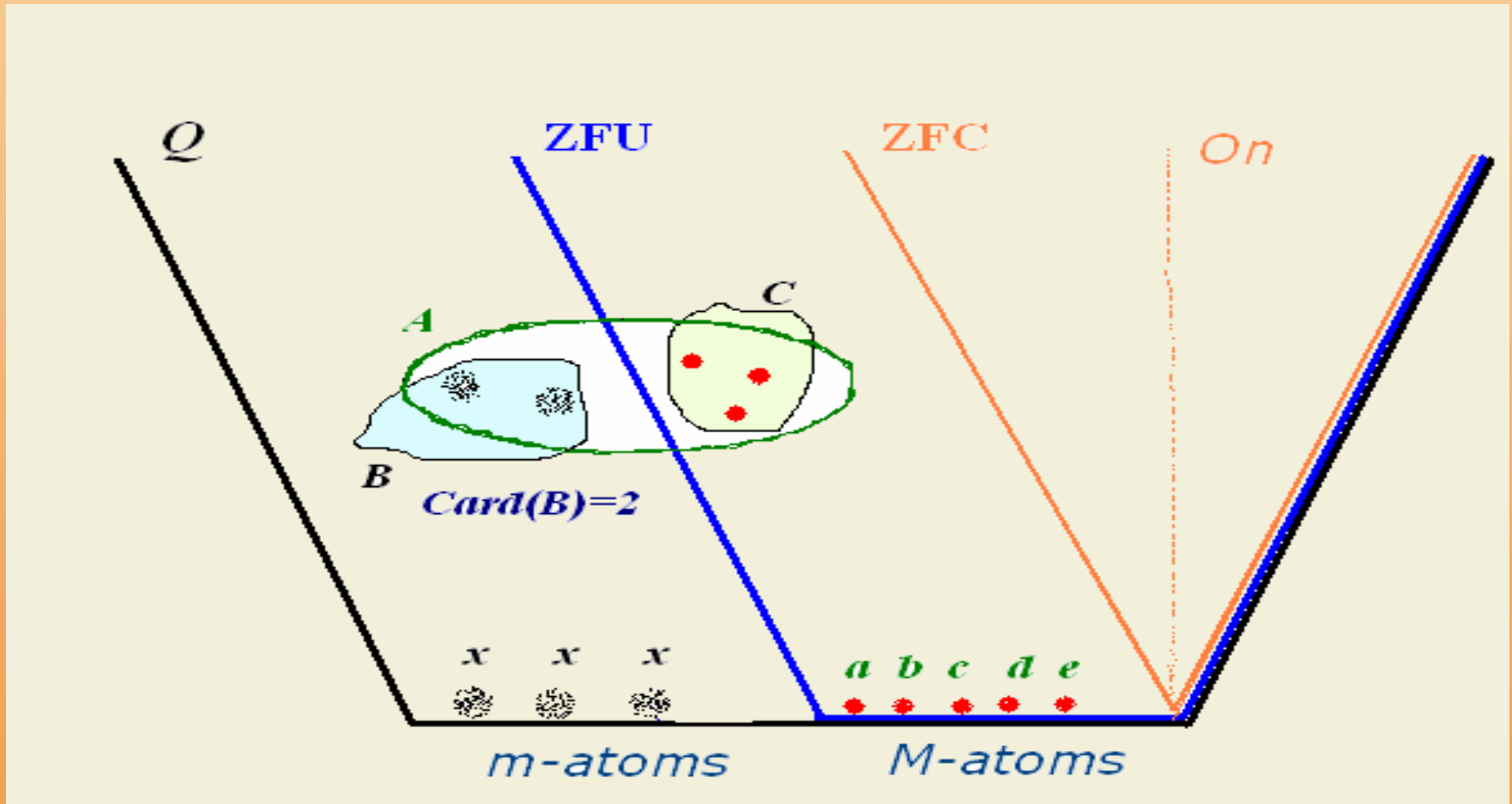


Exemplos:

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

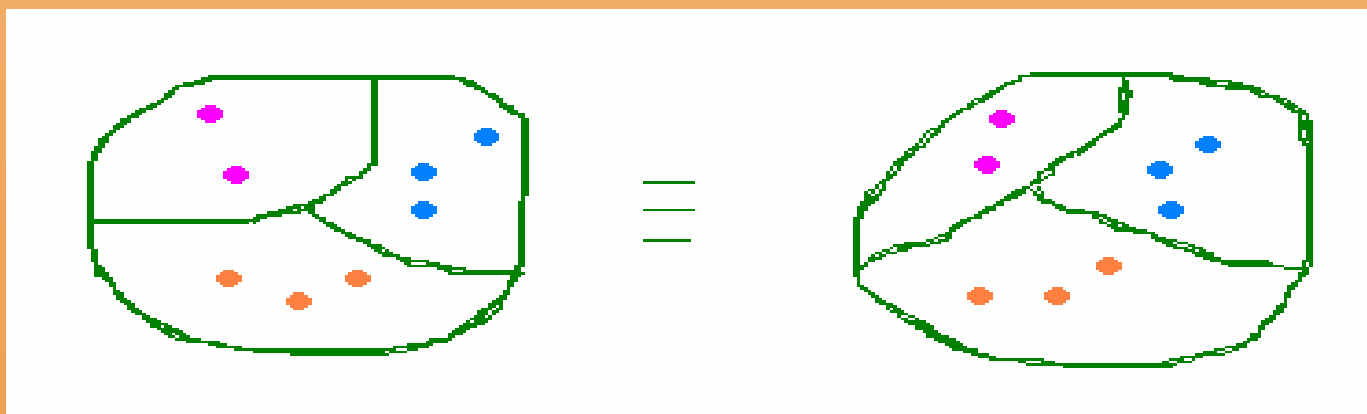
Uma estrutura para a MQ deveria ser tal que não pudesse ser estendida a uma estrutura rígida, o que não é possível em ZF.

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.



Porque não usar Fuzzy Sets?

Fuzzy sets

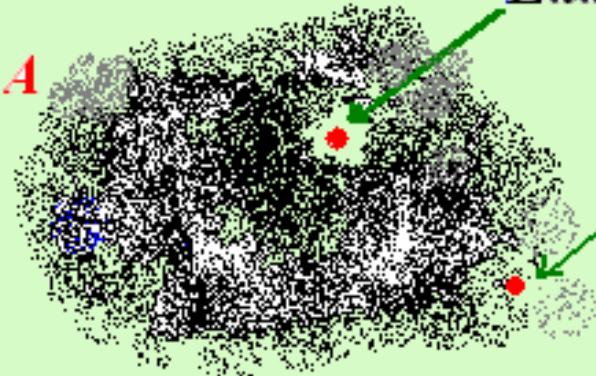
Eddy outside



Eddy inside



A



Eddy ±

vague borderlines

elements are individuals

epistemologic vagueness

Quasi-sets



Eddy?

A



Eddy?

well defined borderlines

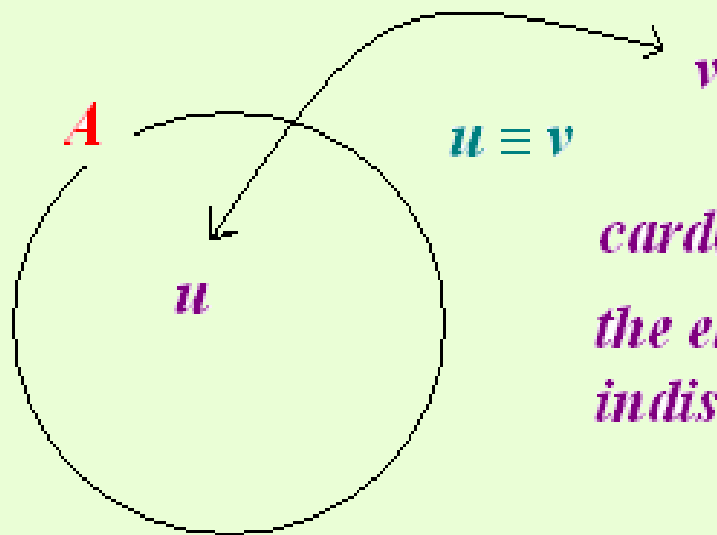
( is in A or  is not in A)

vague elements

ontological vagueness

Permutações (Permutational Symmetry)

'permutations' are not observable

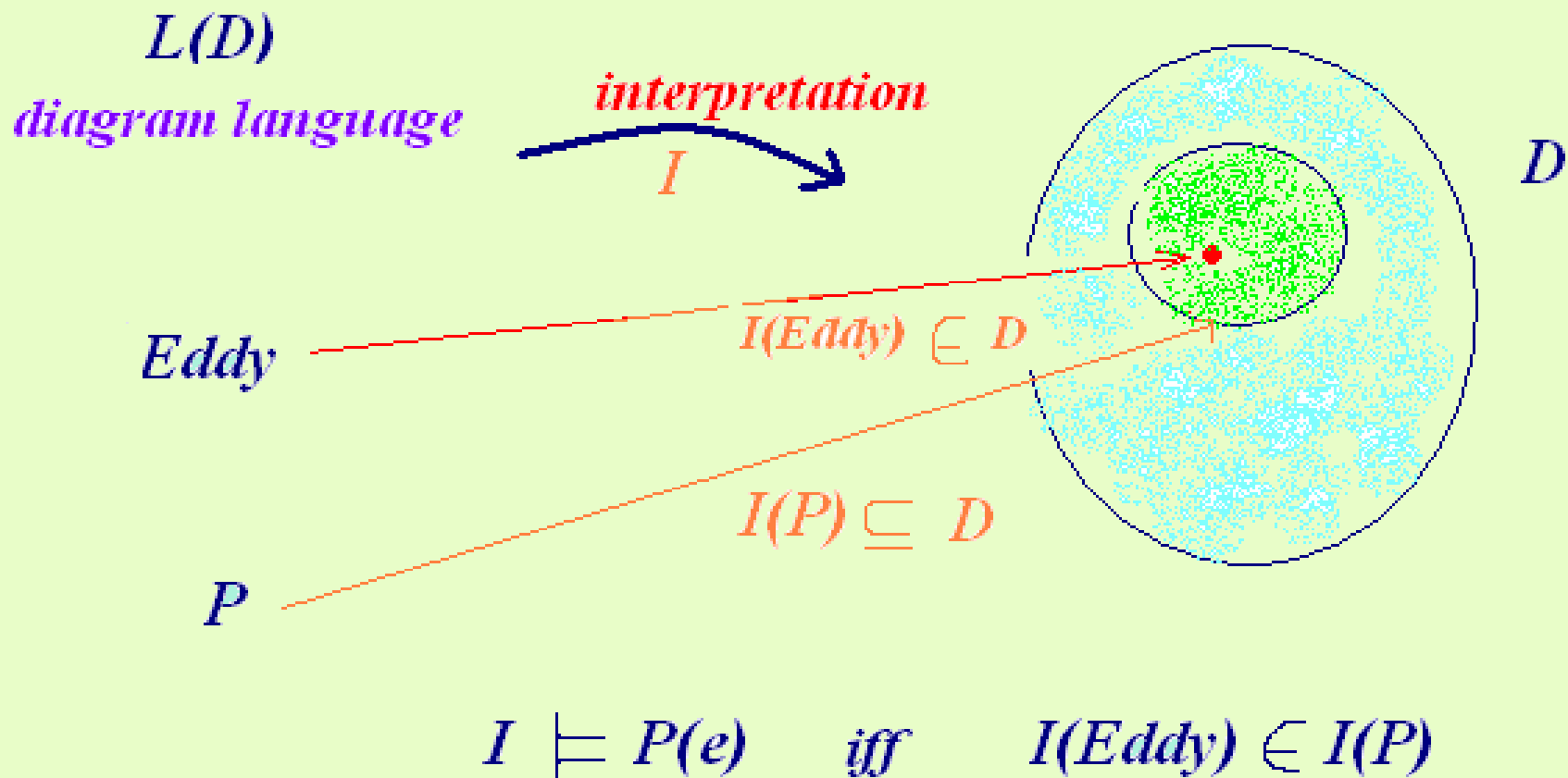


$$\text{card}(u') = 1 = \text{card}(v')$$

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

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

Semântica 'Clássica'



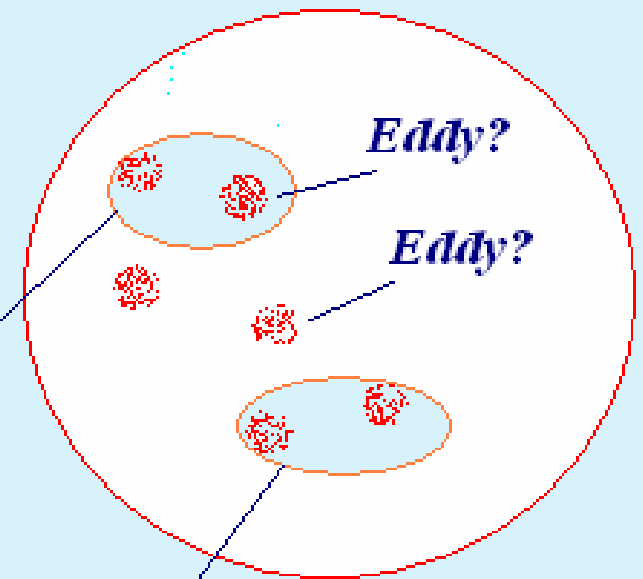
Semântica 'Quântica'?

$L(D) ??$

interpretation?

D is not a 'set'

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

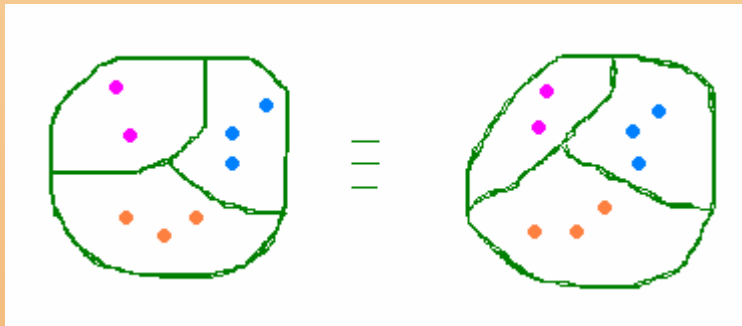


the extension of P ?

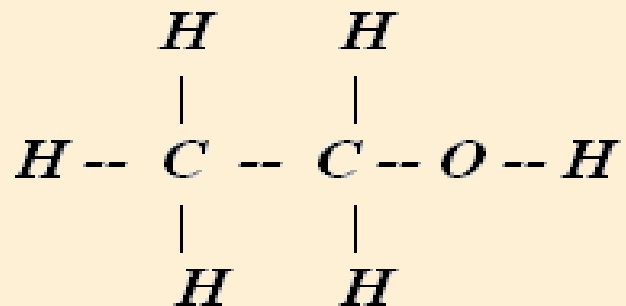
the semantical conception of truth does not apply here !!

the extension of P ?

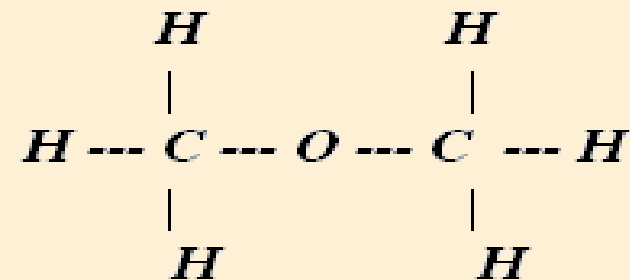
Outro problema: a Forma



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?
- 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)

Muchas Gracias.

