

# 森永晴彦先生を偲ぶ

In Liebe und Dankbarkeit für ein langes und erfülltes Leben  
nehmen wir Abschied von

Prof. Dr. Dr. h. c.

**Haruhiko Morinaga**

\* 10. Oktober 1922 † 2. Mai 2018

Wir werden Dich immer in unseren Herzen bewahren.

Keiko Morinaga  
Taro und Kumiko  
Jiro und Regina mit Elias

Die Trauerfeier fand im engsten Familienkreis in Ito/Japan statt.

# 故森永晴彦 先生へ

現在、日本に存在する $^{42}\text{Ar}$ - $^{42}\text{K}$ ジェネレータの殆どを使用させていただいており、深く感謝申し上げます。

理由は次の2枚: 植物にKは不可欠ですがトレーサーが無いため研究が遅れているからです。

中西友子

東京大学大学院農学生命科学研究科

星薬科大学

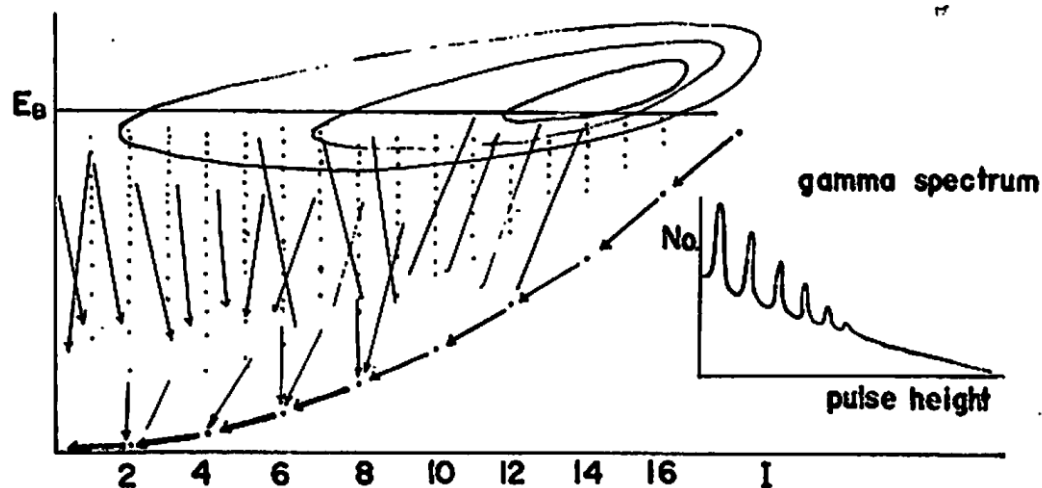
## 森永晴彦先生： Yrast 物理への道

、、、湯川さんが直接司会されたこの会は大変印象的なものだったが、私にとって特に重要な意義のあるものだった。それは、そこに来て居られた吉沢康和氏による、銀に $\alpha$ 粒子をあててできるインジウムの放射性同位元素の基底状態とアイソマーとの生成比を $\alpha$ 粒子のエネルギーの関数として測ると、非常に広いエネルギー範囲で、それが1程度から20までリニアに変るという報告だった。それで、まだ着席中--多分その次の講演が行なわれている間に--インプットの角運動量が、その二つの異性体のスピンの平均値より少ないような、いわば正面衝突に近いときは基底状態になり、角運動量が大きいときにはアイソマーになるという簡単な仮定で計算してみたら、吉沢氏のデータが極めてきれいに説明できた。

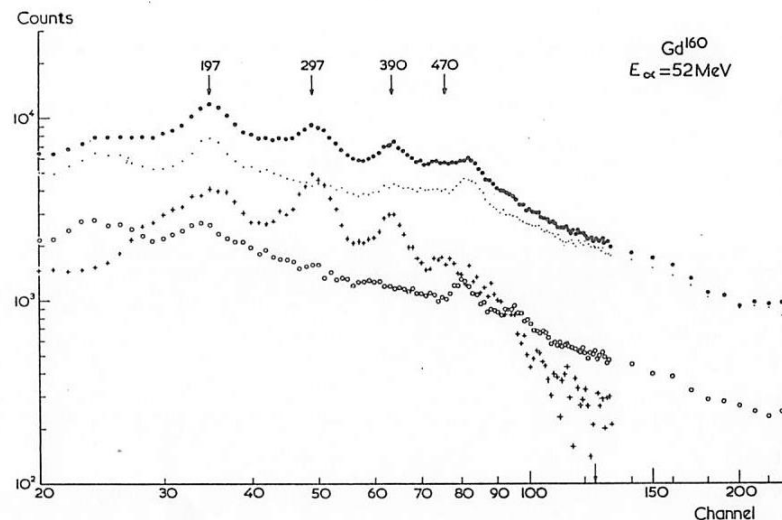
それについて考えたり人に話しているうちに、大変重要なその意味がわかってきた。というのは、前記の仮定が本当ならば、一意的にある実験条件(特定のエネルギー、単一核種のターゲット)の下に、

**連続領域の複合核反応の際に出てくるガンマ線の中に、際立ってイラスト状態--特に偶-偶の変形核ならばその回転状態--を経るガンマ・カスケードが見える**、ということである。この基本的アイディアの中には、その他案外知られていなかったが、中性子捕獲をやっていた人達が出していたデータ「複合核から出るガンマ線の数は3乃至5」ということも入っている。

# 左 森永予想図(1967)



# 右 実験データ $^{160}\text{Gd}$ Morinaga-Gugelot (1963)



連続領域の複合核反応の際に出てくるガンマ線の中に、  
際立ってイラスト状態--特に偶-偶の変形核ならばその回転状態  
--を経るガンマ・カスケードが見える

# Antiprotonic Helium Atom Molecule

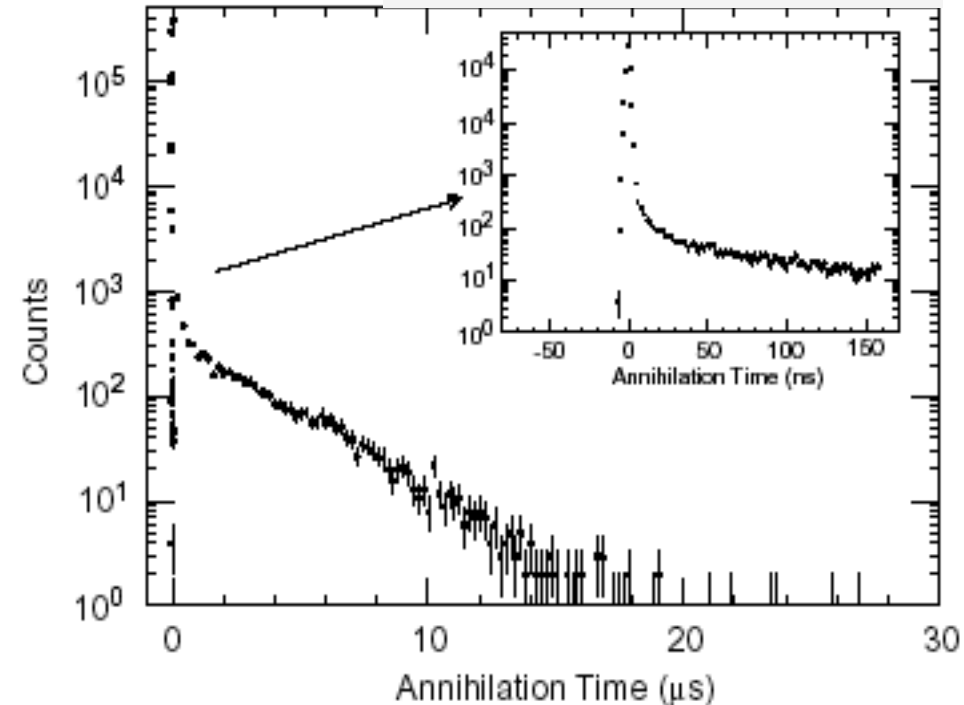
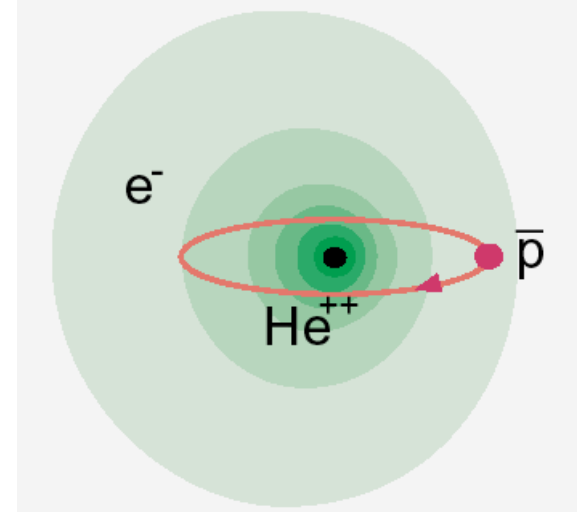
Miraculous Metastable Interface between  
Matter World and Anti-Matter World

Antiprotons in matter

---> prompt annihilation in picosec

**Exception: Longevity in He media**

- Discovered in 1991 at KEK(Japan)  
M. Iwasaki et al. PRL (1991)
- 3 %, long lifetime ~ **3 microsec !!**
- Triggered by an accidental  
encounter with long-lived  
K- mesons in liquid helium (1998)
- Systematic studies  
at **CERN-LEAR 1991** -
- from Curiosity-driven research  
to Precision-oriented  
physics-chemistry



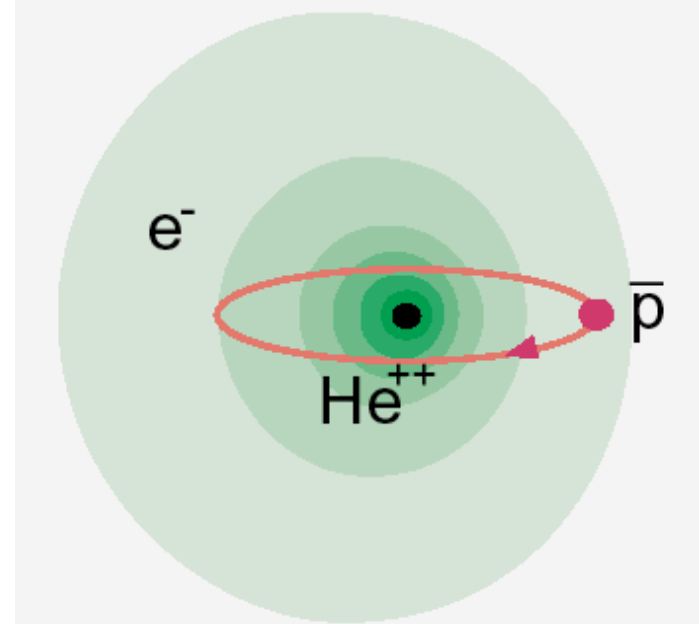
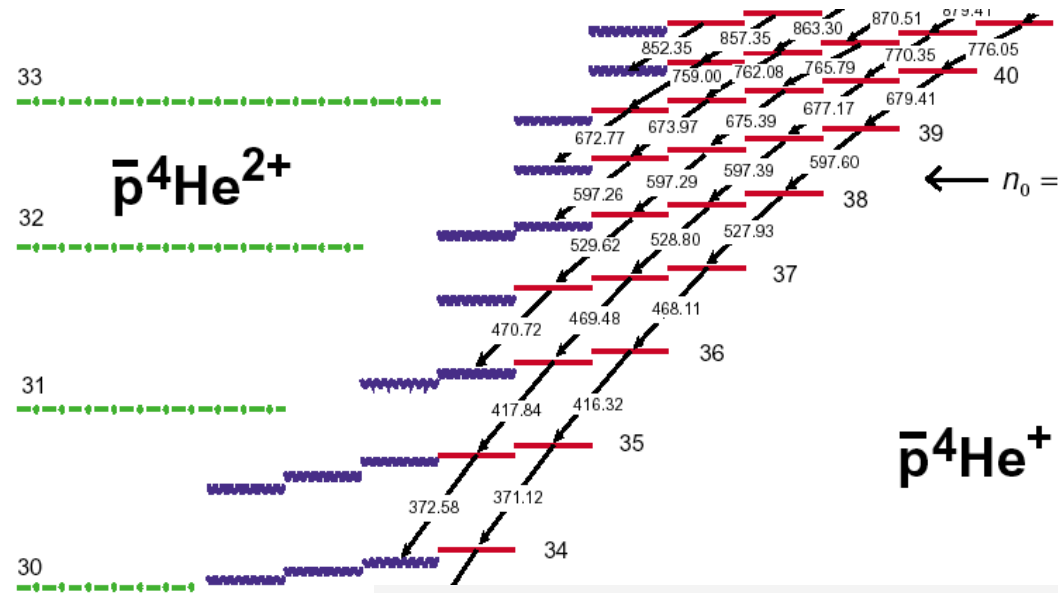
# Antiprotonic Helium AtomMolecule

## Rich Yrast sequences

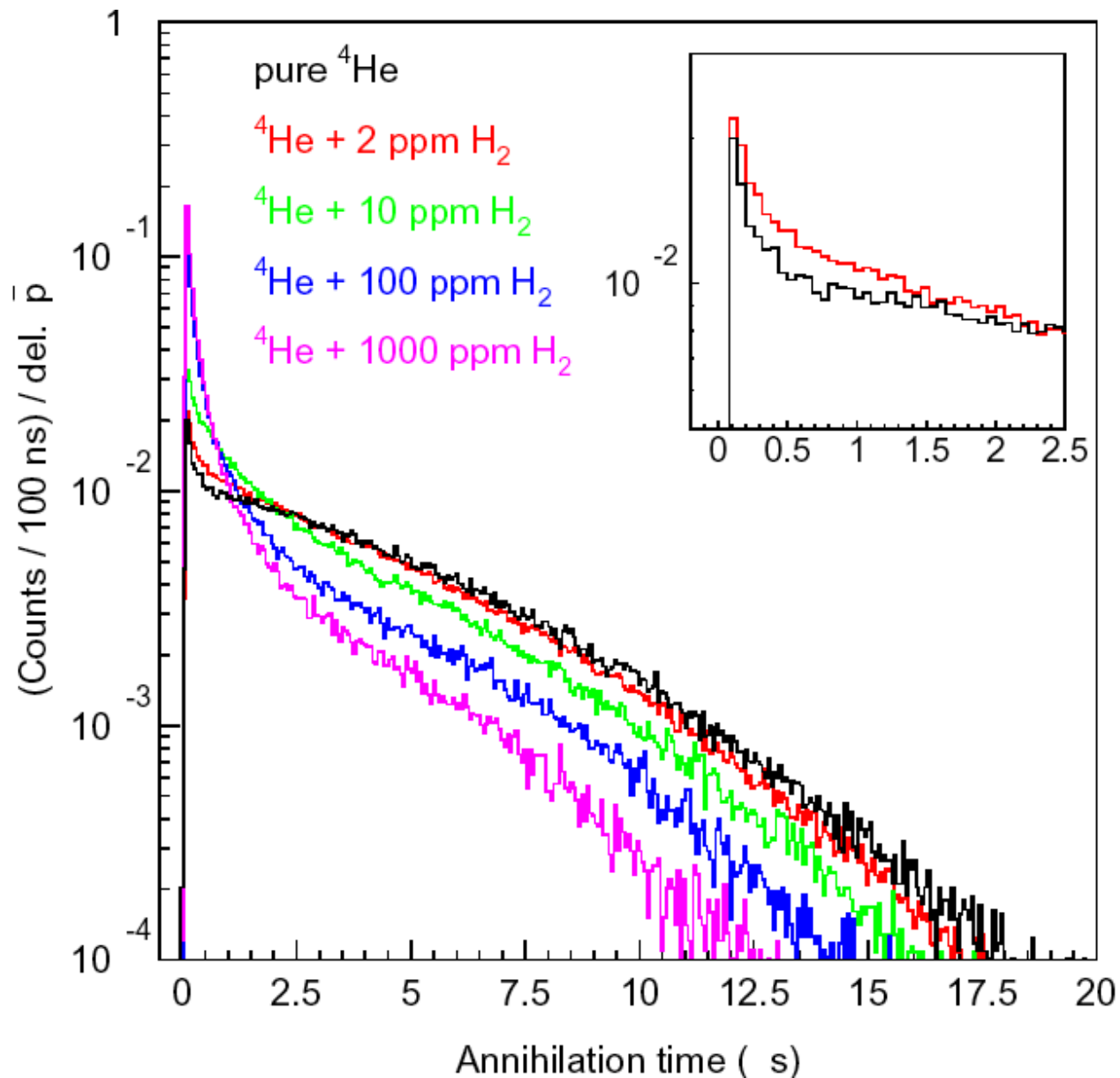
Metastability of  $\bar{p}\text{He}^+$

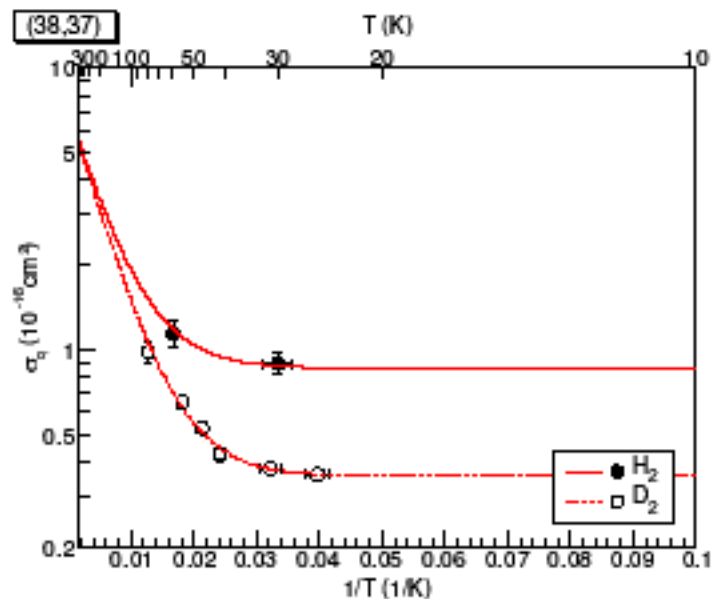
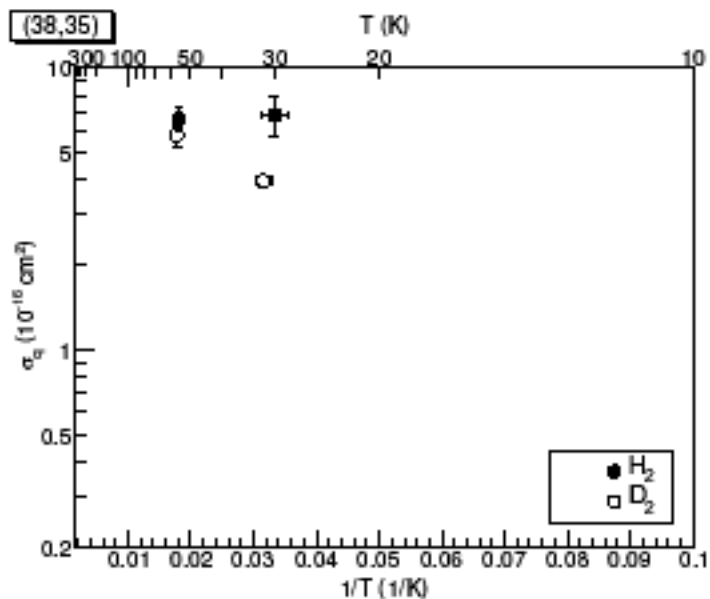
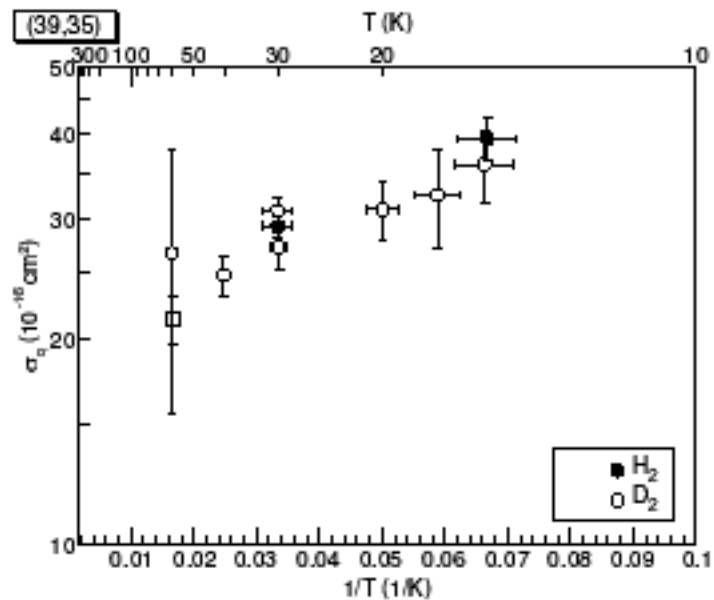
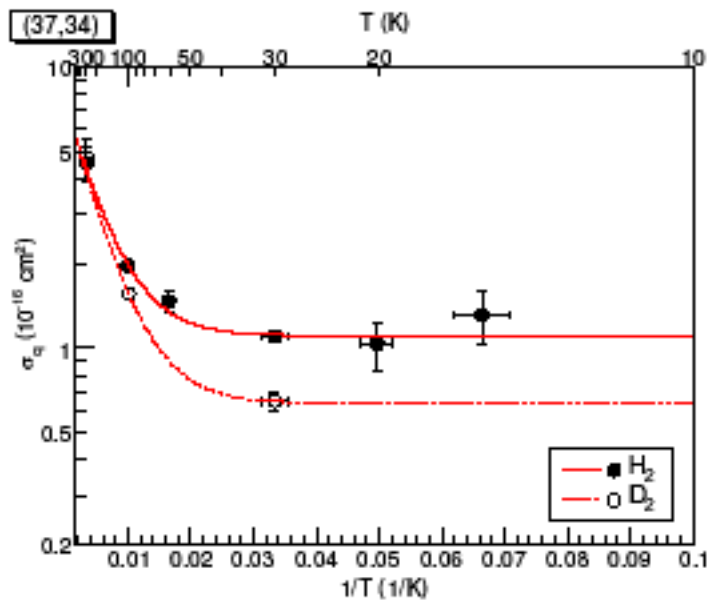
- large  $(n, l)$ ;  $n \sim 38, l \sim 37$
- large ionization energy:  $I_0 \sim 25$  eV
- Suppressed Auger decays:  
 $\bar{p}\text{He}^+(n, l) \rightarrow \bar{p}\text{He}^{2+}(n', l') + e^-$ :  
 $\Delta l > 3$
- Suppressed Stark decays:  
 $E_{n,l} - E_{n,l-1} \sim 0.3$  eV.
- Slow radiative decay:  
 $(n, l) \rightarrow (n - 1, l - 1)$ ;  $\Delta E \sim 2$  eV
- Retarded radiative decay:  $e^-$  polarization by  $\bar{p}$

**Core Polarization: Arima-Horie (1954)**  
**Suppressed E1 transitions  $\sim 1/3$**



# 水素分子によって壊れる反陽子ヘリウム







# 安定化した yrast 反陽子

反陽子ヘリウムの崩壊スキーム

- 低温化学反応
- 宇宙物理との関連

ブラックホール:

ホーキング低エネルギー陽子・反陽子放射

などなど、、、

2019.0602/2016. 12. 12

奇妙な **K中間子陽子物質 (KPM)** の予言

— 仮說的 安定・中性・陽子・宇宙物質

Hypothetical, Stable, Neutral, Protonic  
Astronomical Objects

赤石 義紀 山崎 敏光

# K中間子陽子 凝縮物質 Kaonic Proton Matter (KPM)

日本学士院談話 2016年12月12日

High-density kaonic-proton matter (*KPM*)  
composed of  $\Lambda^* \equiv K^-p$  multiplets and its  
astrophysical connections

Yoshinori Akaishi<sup>1,2</sup> and Toshimitsu Yamazaki<sup>1,3</sup>

# 「KPM」という巨体

はどこにも登場したことがない

- 陽子と負K中間子から成る中性物質
- ~~陽子と電子： 水素原子、水素分子、固体水素~~
- 白色矮星の電子を負K中間子に置き換える
- 中性子と陽子
  
- 糊： 水素原子の電子 $e^-$ に代わって K-中間子 K-の  
つくる  $K-p = \Lambda^*$  が単位

- 陽子 $p$ （一個なら安定、 $p$ 複数個のみの原子核は存在しない。）
- 中性子 $n$ （不安定、しかし原子核中では安定になり得る）

中性子原子核  $nn, nnn$ , 存在しない

しかし、密度の大きな**中性子星**は存在

陽子原子核  $pp, ppp, ,$  存在しない

しかし、 $K^-p, K^-pp$ 、などは存在  
では**陽子星**は？

Akaishi-TY: 2002

$K^-p$  atom

$K-N$  scattering

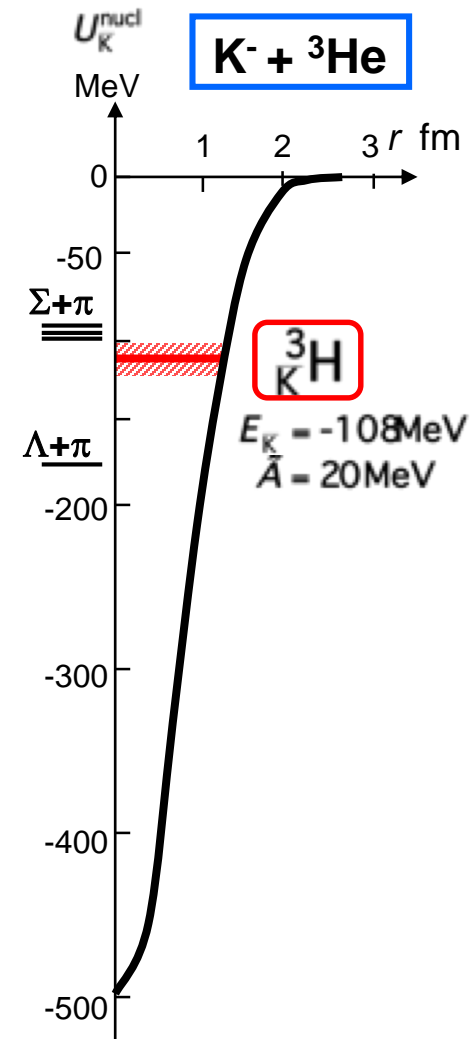
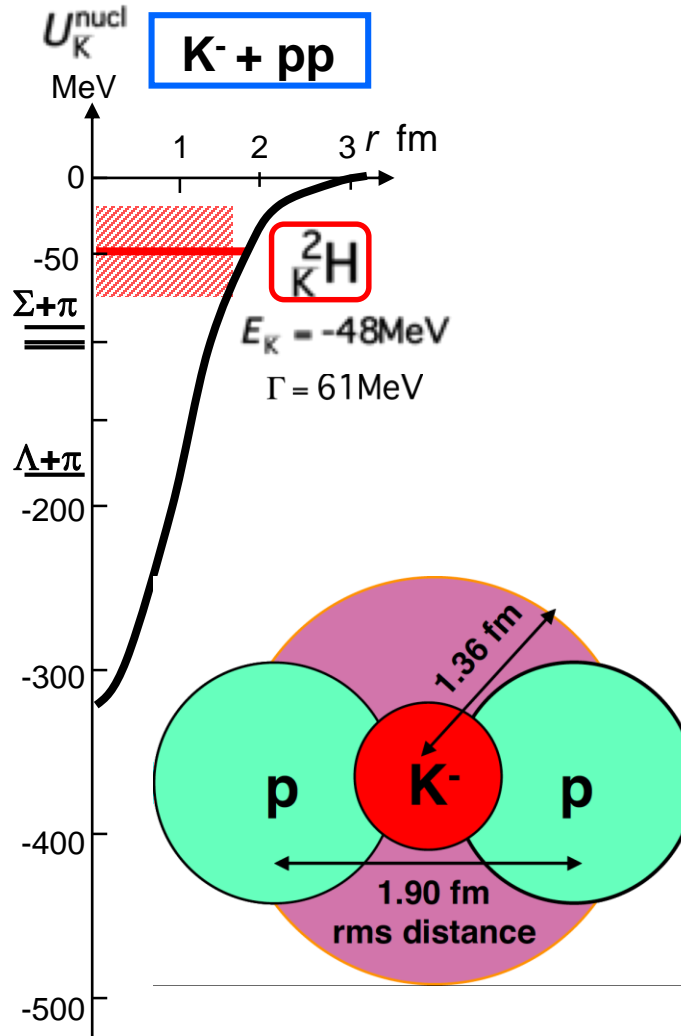
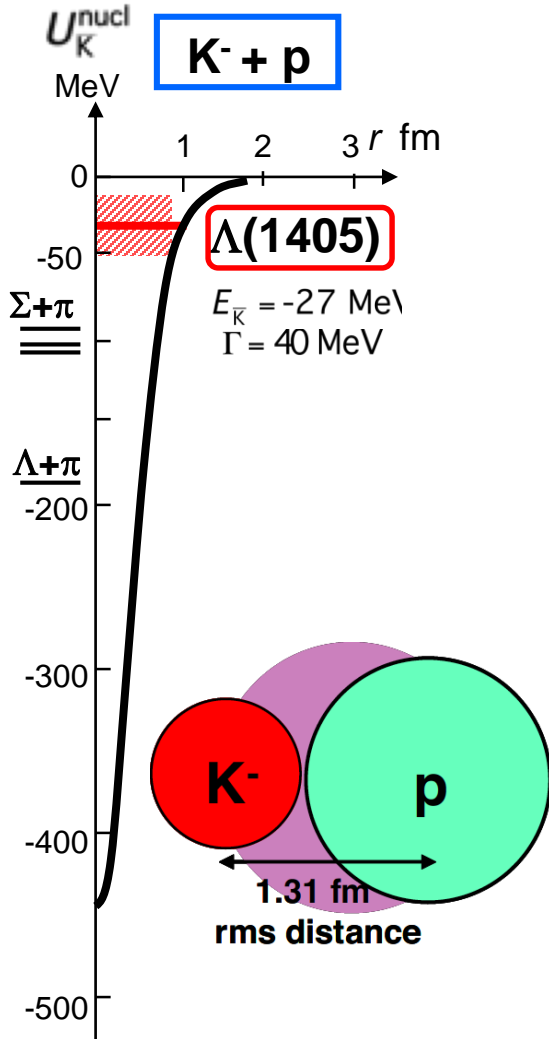
$\Lambda(1405) = K^-p$

Strong  $K^- - p$  attraction  $I=0$  W.Weise(1995)

Nuclear shrinkage 高密度K原子核の予言

Y. Akaishi and T. Yamazaki, PRC 65 (2002) 044005

T. Yamazaki and Y. Akaishi, PLB 535 (2002) 70



# K中間子核 (2000年に予言)

- 高密度核物質への道: **中性子星への先駆物質**  
重力の助けなしで高密度核が?!

$$\rho_{av} \sim 3 \times \rho_0$$

(通常核密度、

これ以上はあり得ないと信じられている)

異常高密度状態

- カイラル対称性の破れの回復
- K中間子凝縮? ボゾンを構成子とする物質  
スーパー核力
- 極低温のクォークグルオン相?

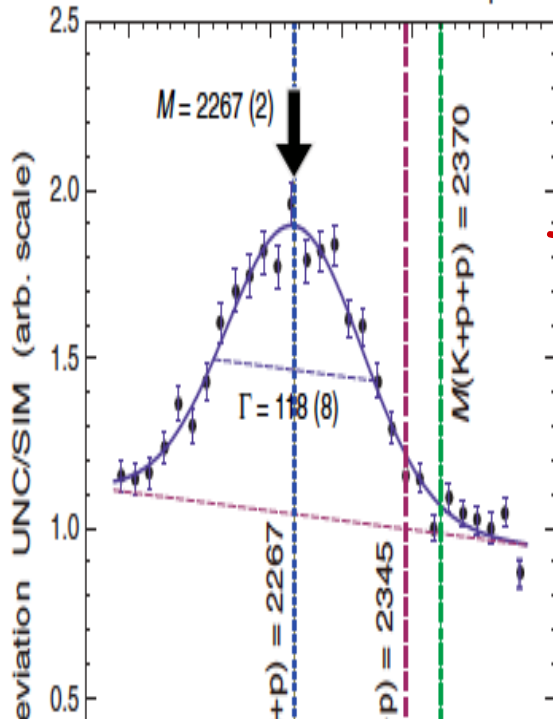
# K<sup>-</sup>pp

予言

T. Y., Y. Akaishi  
(2002, 2007)

発見

DISTO 2010



## Experimental evidences

T. Yamazaki et al, PRL (2010)

X2265  $\rightarrow$  p+ $\Lambda$  population

$\sim 100\%$  in  $p + p \rightarrow X + K^+$   
 $q = 1.6 \text{ GeV}/c$

Indicating:

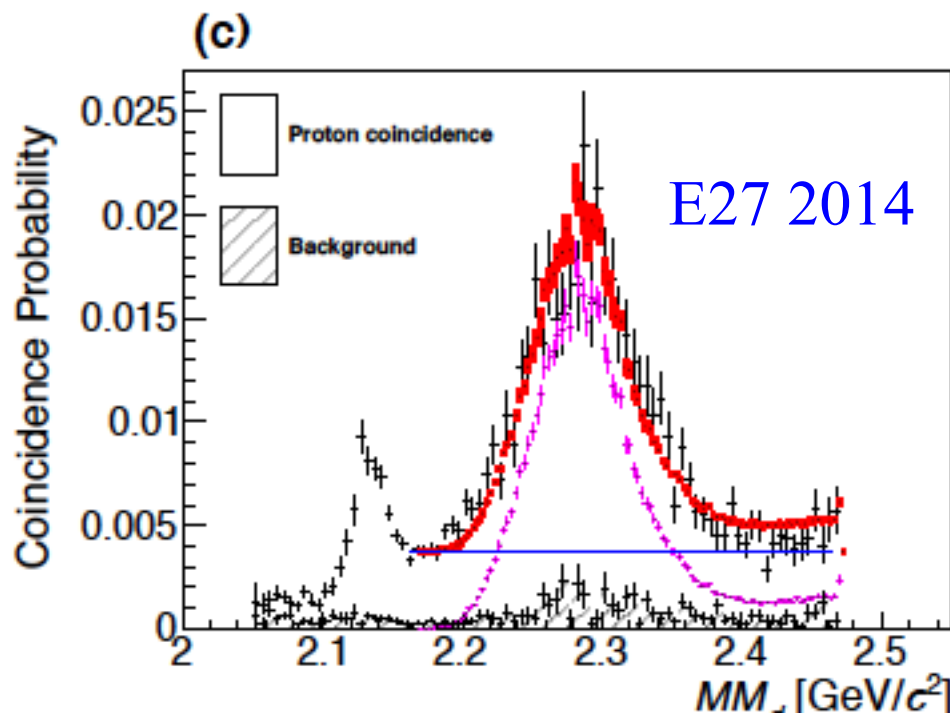
X2265 = dense K<sup>-</sup>pp  
B.E.  $\sim 100 \text{ MeV}$

J-PARC E27

Ichikawa et al.

PTEP (2014, 2015)

$\sim 2\%$  in  $\pi^+ + d \rightarrow X + K^+$   
 $q = 0.3 \text{ GeV}/c$





# K-pp原子核

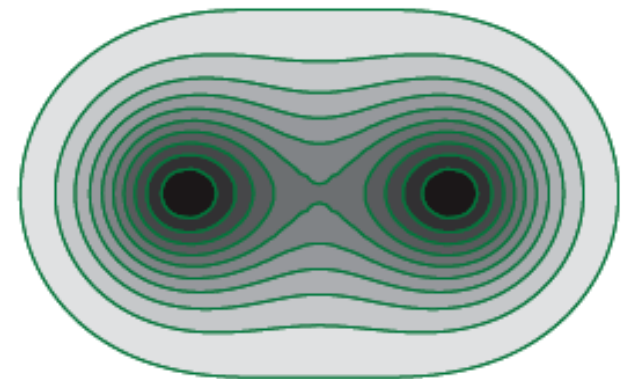
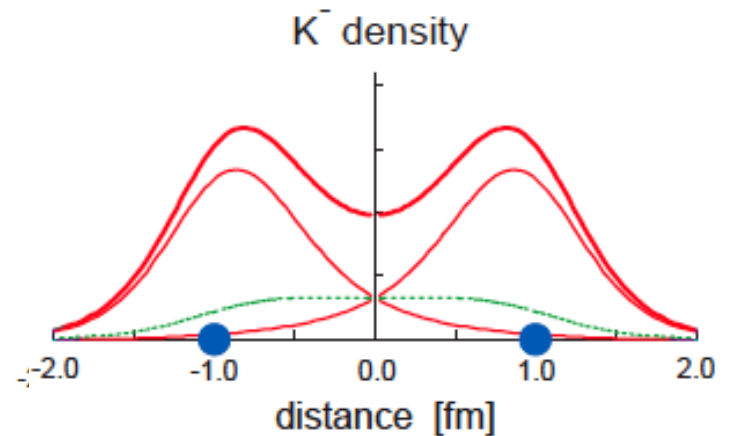
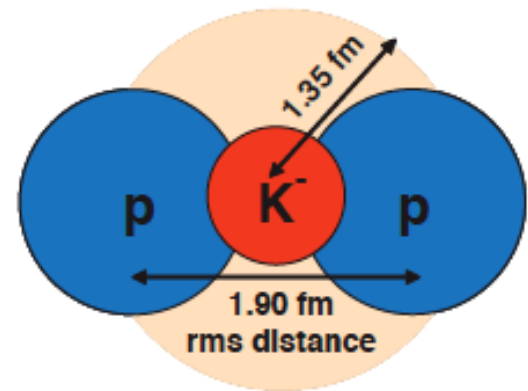
K水素核K-p [ $\Lambda(1405)$ ]にp  
が近づくとK水素分子核が  
できる:

**K-によるppの共有結合**

Heitler-London (1927)の機構  
と類似

- \* K-p間の極めて強い引力
- \* p-p間短距離斥力  
とのバランス
- \* 共有結合による核力:  
湯川核力の4倍の結合効果

**広域 超核力**



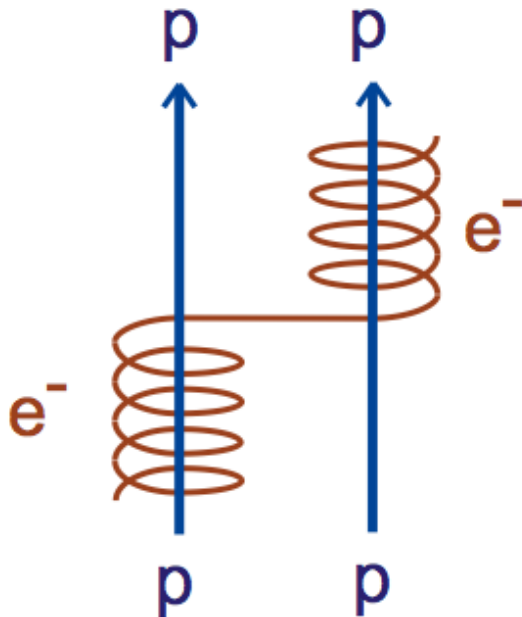
p-p distance = 2.0 fm

# *Pionic and kaonic origins of nuclear forces* *a la K. Nishijima*

T.Y.-Y.A., PJAB(2007)

## **Molecular**

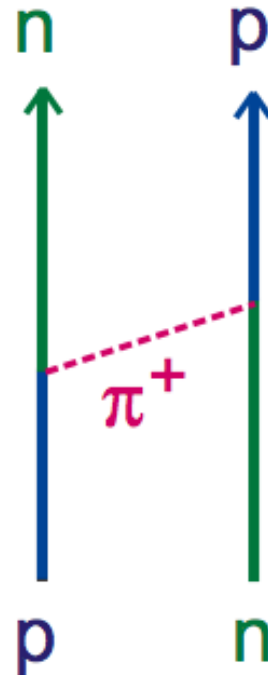
Heitler-London (1927)  
Heisenberg (1932)



migrating  
real  
fermion

## **Nuclear Force**

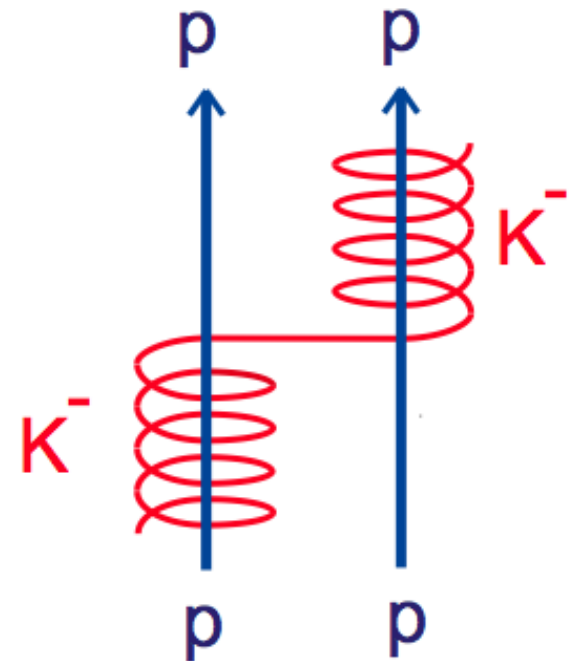
Yukawa (1935)



mediating  
virtual  
boson

## **Super Strong Nuclear Force**

(2007)



migrating  
real  
boson

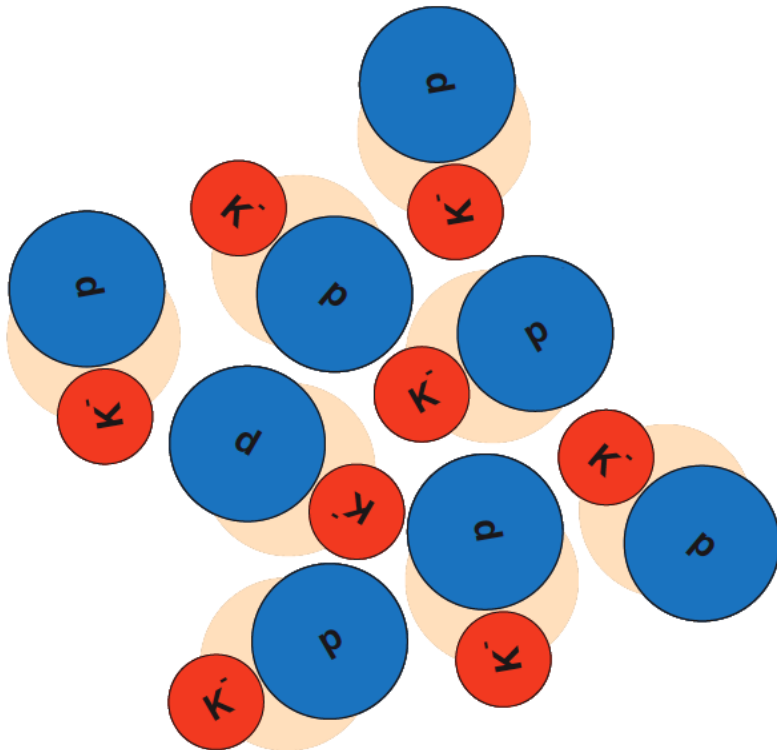
# Dynamical formation of $\Lambda^* = K^-p$ clusters in $K^-K^-pp$

$\rightarrow \Lambda^*$  condensed matter

Repulsion among  $K^-$ 's  
diminished

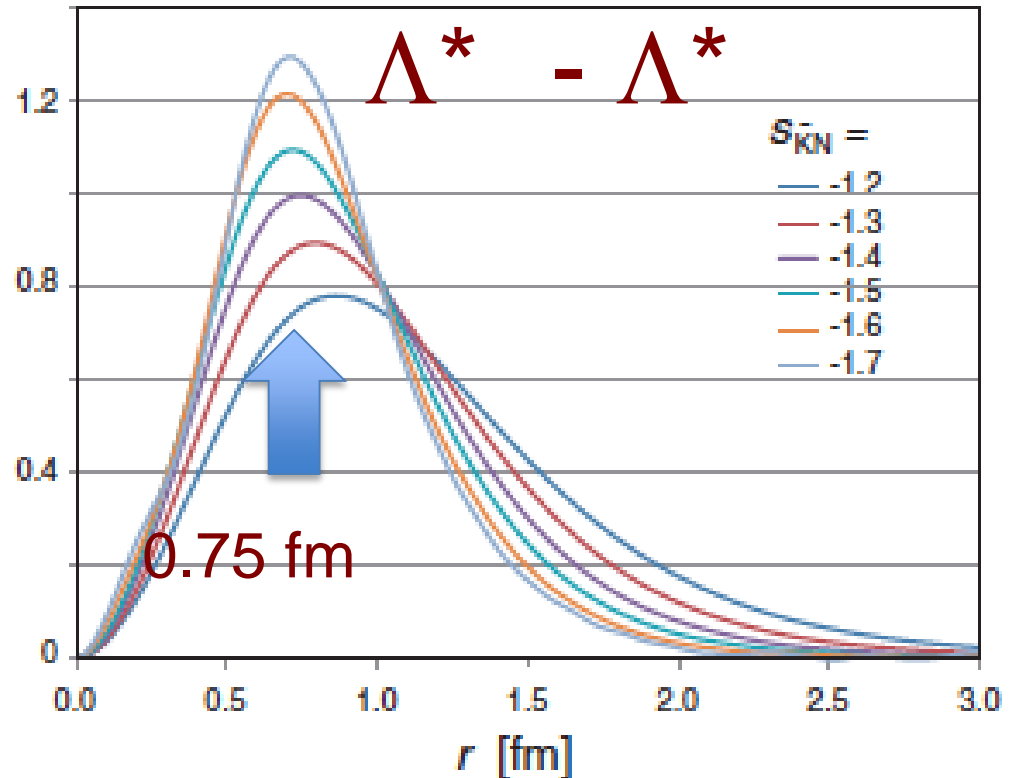
Strong attraction among  $\Lambda^*$ 's

$K^-p$  ( $\Lambda^*$ ) condensed matter



$r^2 \rho_{\Lambda^*-\Lambda^*}(r)$  [ $\text{fm}^{-1}$ ]

$K^-K^-pp$



# NEW EXPERIMENTAL PROPOSAL

(conceptual)

## PRODUCTION OF

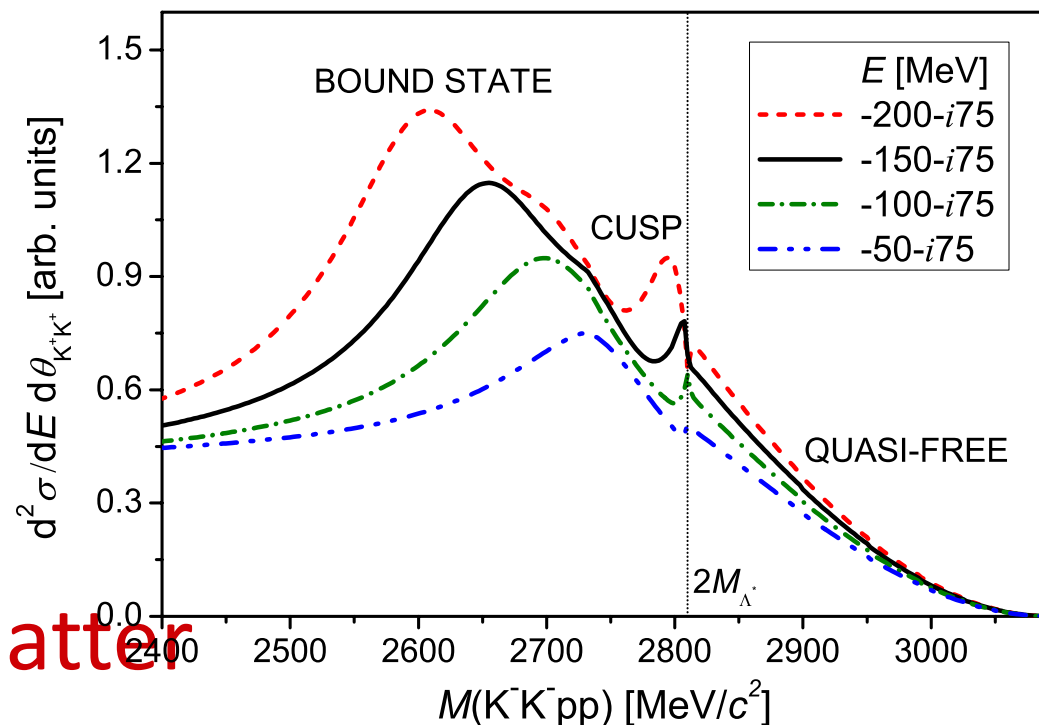
# $K^-K^-pp$

Gateway toward

# Kaon Condensed Matter

by  $p + p \rightarrow \Lambda^* + \Lambda^* + K^+ + K^+$

$\rightarrow K^-K^-pp + K^+ + K^+$



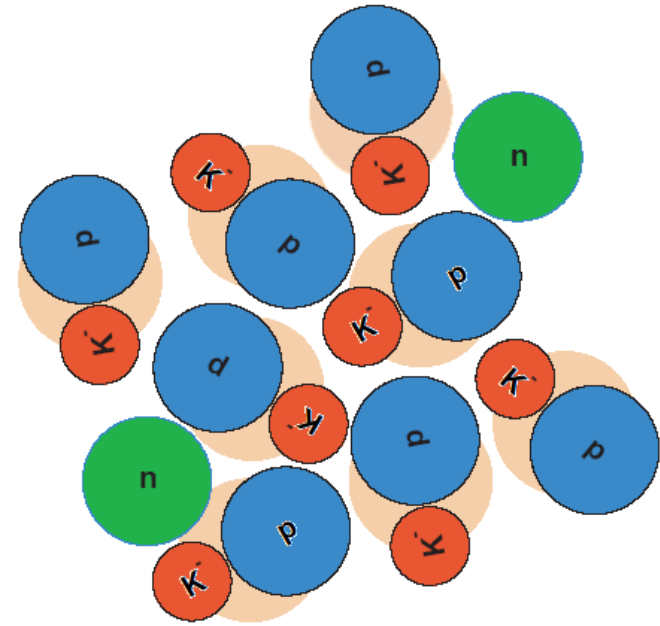
A denser state more favored in short-range collision

# KPM K中間子陽子物質 $\Lambda^*$

$$M[\Lambda^* = (K^-p)] < M[n]$$

$\Lambda^* (K^-p)$  が多数集まると、  
K-p間引力の増加、Kボゾン粒子の  
周回によるハイトラー・ロンドンの  
共有結合力の増加に助けられ、

安定な物質に転化する。K-中間子は陽子の凝縮を媒介。

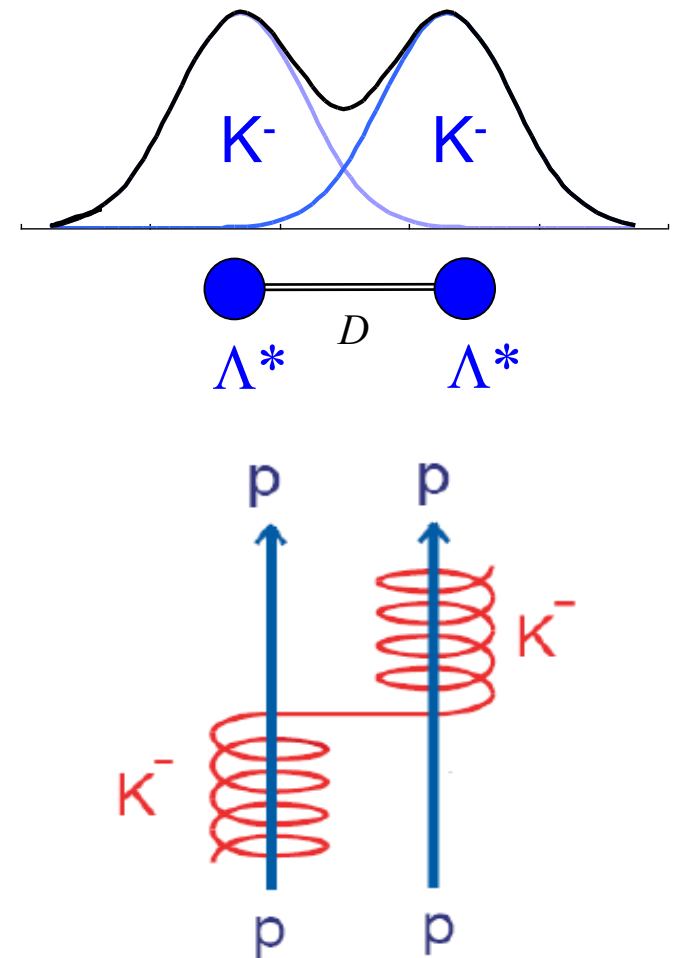
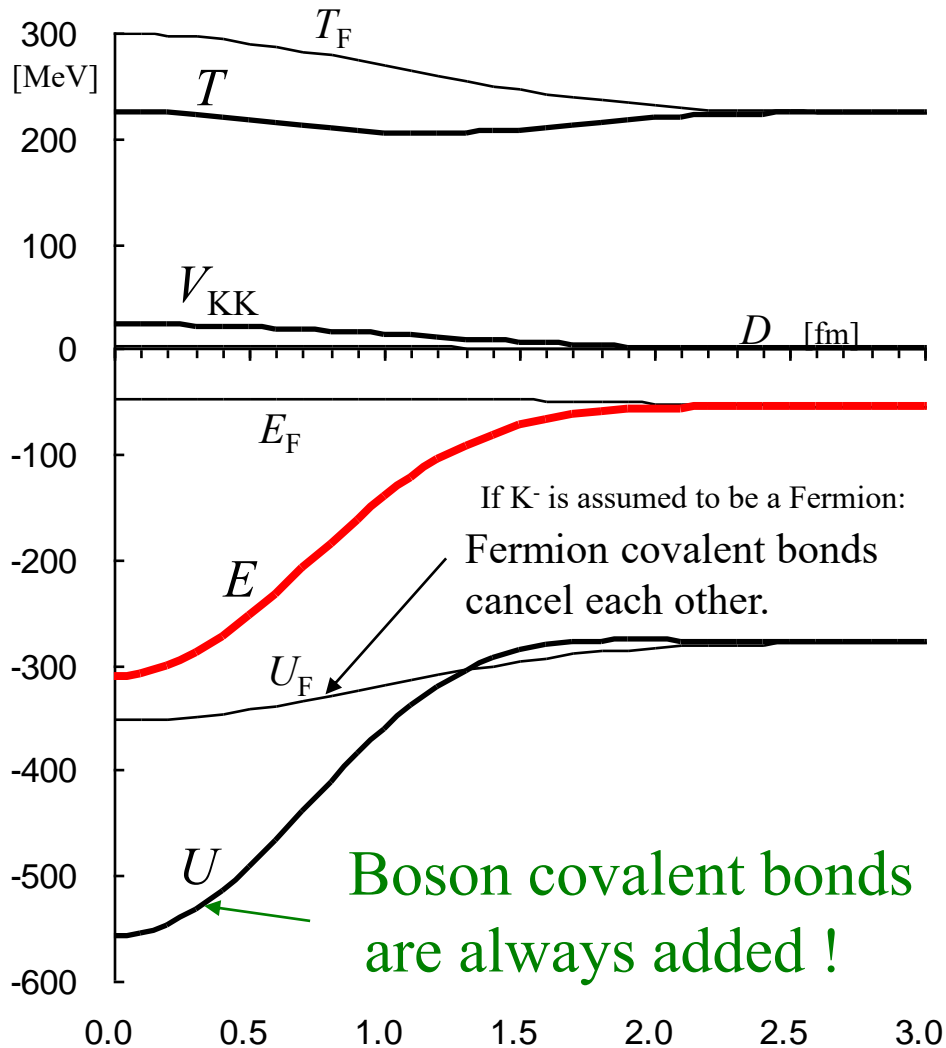


これは、反粒子と粒子の結合・潜伏による！

# $\Lambda^* \Lambda^*$ model for $K^- K^- pp$

Y. Akaishi

$$\Phi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = N \{ \phi_a(\vec{r}_1) \phi_b(\vec{r}_2) \pm \phi_b(\vec{r}_1) \phi_a(\vec{r}_2) \}$$



# 多体ラムダ \* ストレンジレット

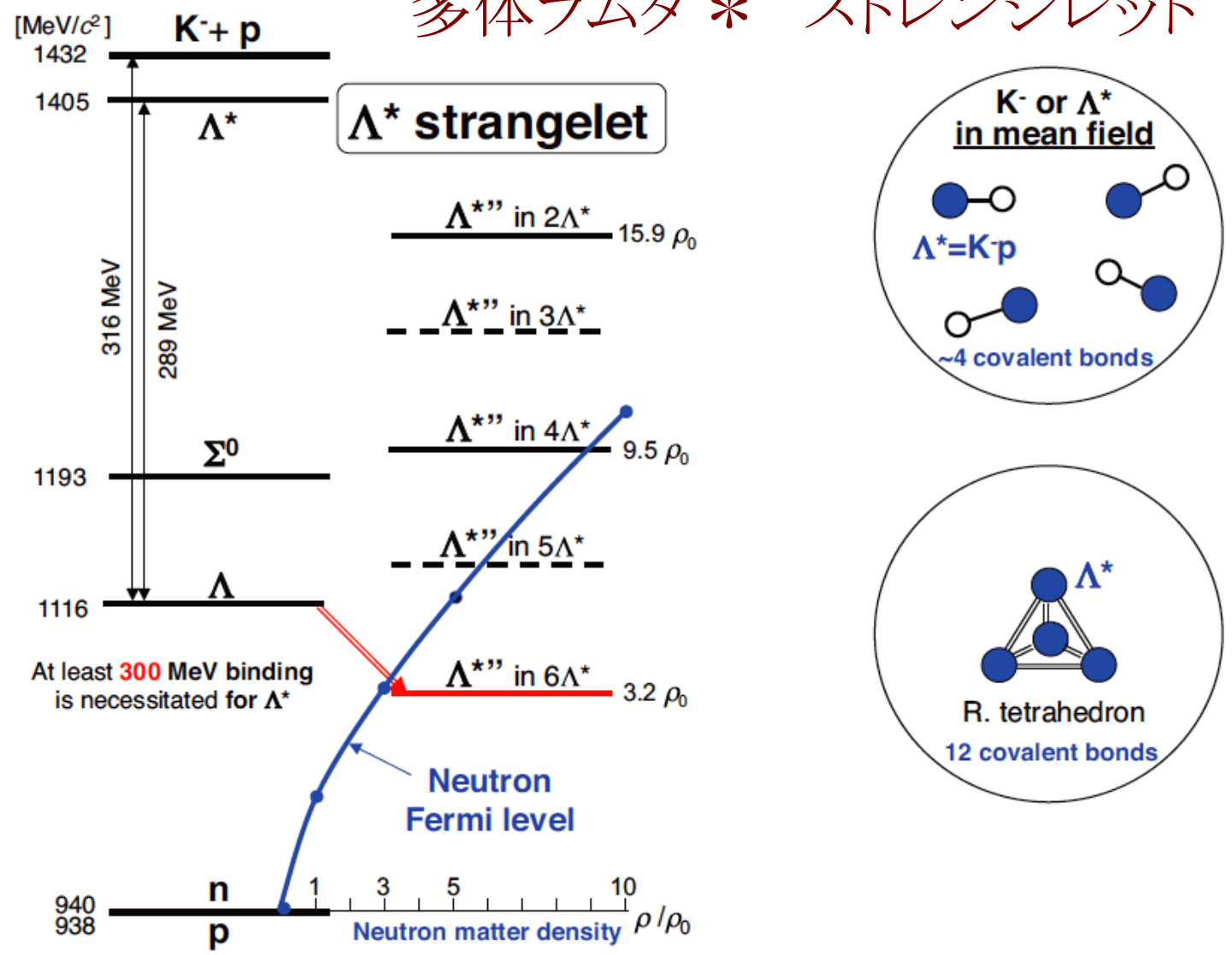


FIG. 4: \*\*Fig-v3-2-L\*strangelet-levels.eps\*\* Predicted energy levels of  $\Lambda^* = K^-p$  in  $\Lambda^*$  multiplets. The corresponding nuclear densities and neutron Fermi levels are also shown, indicating that the  $\Lambda^*$  in the  $\Lambda^*$  sextet cannot decay to neutron.

# KPMの性質

光の出ない物質。電子が無い。近くに励起状態も無い。

中性物質 電荷反応はない。

温度ゼロ、高密度、

クォーク・グルオン束縛状態(QGB): **未発見**

幽霊: 透過性、すれ違い

反クォークの保存所: 死滅すべき初期  $u^{\text{bar}}$  の隠れ家

## どこで生まれるか？

宇宙初期 QGP クォーク・グルオン・プラズマ

-> 反世界の消滅とともに

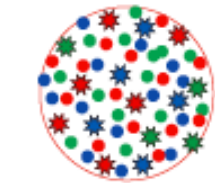
超新星爆発の際、中性子星誕生 と共に KPMが誕生 ?

中性子星パズルとの関連

**KPMのシグナル** 何も無い、**ダークマターと同じ!**



# Big Bang QGP



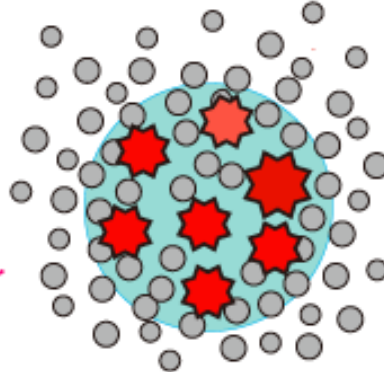
•••••  $u, \bar{u}, d, \bar{d}$   
 \* \* \* \* \*  $s, \bar{s}$

Cooling  
Expanding



# Hadronization + KPM seed formation

Evaporating hadrons and  $\bar{K}$  clusters as cold residues



$p = uud$   
 $K^- = \bar{s}u$   
 $p = uud$

Cooling  
Expanding



# Stabilized KPM DARK MATTER



$\bar{K}$  cluster  
 Hadrons

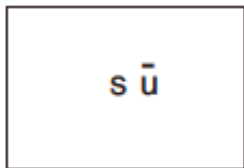
## MATTER

Quark Sector  
 $u, d, s$



## ANTI-MATTER

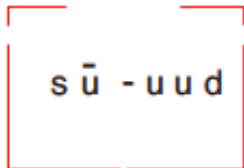
Anti-Quark Sector  
 $\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}$



*disappearing*

## Hybrid Sector

$u, d, s \quad u, d, s$



*stable relic*

## Kaonic Proton Matter

$$= \{s, u, u^{\text{bar}}, d, d^{\text{bar}}\}$$

quark polymer



Strong attraction

No short-range repulsion

When and where anti-quarks disappeared ?

When and where quark-gluon bound system formed?

→  $s u^{\text{bar}}$  -  $u u d$  branching

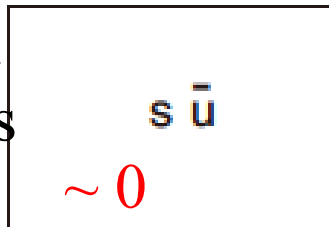
$u^{\text{bar}} + u \rightarrow$  annihilation **MATTER**

**ANTI-MATTER**

Anti-Quark Sector

$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}$

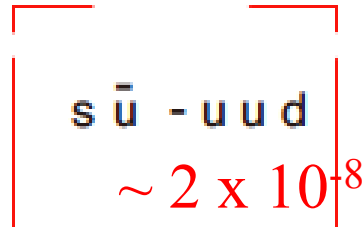
Primordial  
anti-quarks



*disappearing*

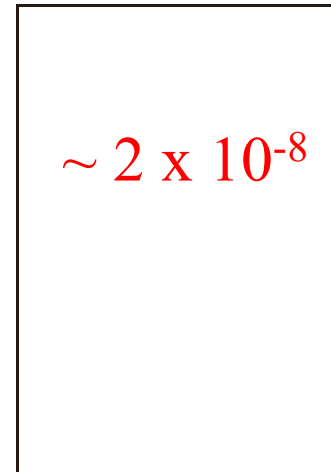
**Hybrid Sector**

$u, d, s \quad u, d, s$



*stable relic*

Quark Sector  
 $u, d, s$



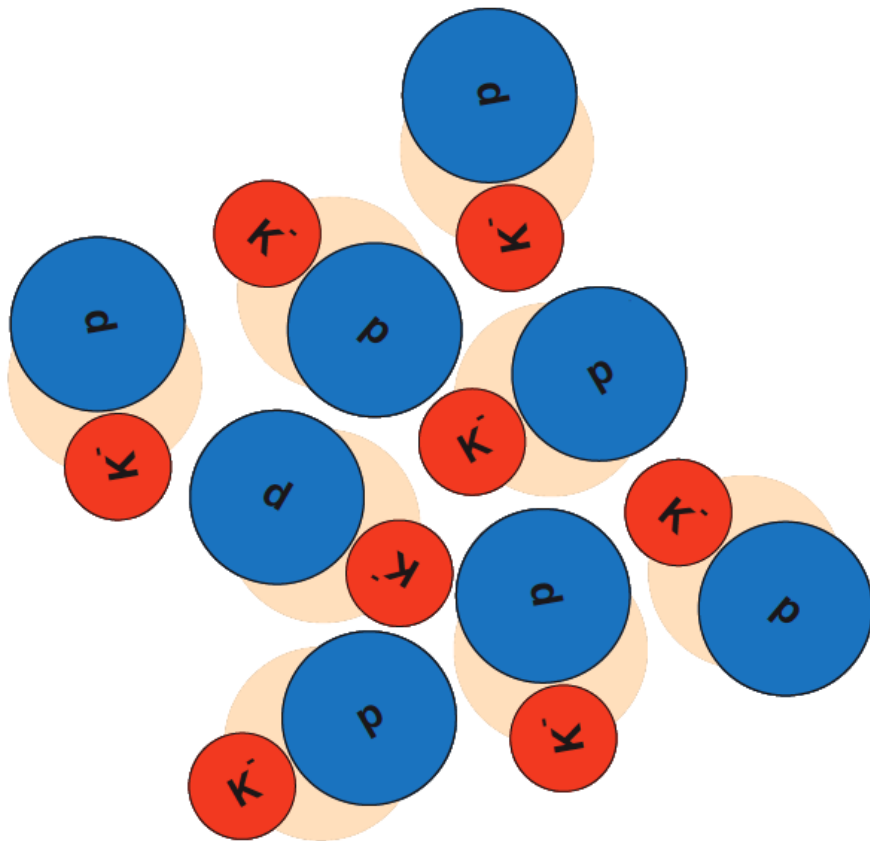
*residue*

Primordial quarks

Quark Gluon Bound system

# K中間子核K<sup>-</sup>ppから K陽子物質 (KPM)へ

K<sup>-</sup>p ( $\Lambda^*$ ) condensed matter



K-K-pp は大きな束縛エネルギーで結ばれる $\Lambda^*$ - $\Lambda^*$ と同等。

K<sup>-</sup>とpはその多体系の中で硬い単位となり、大きな $\Lambda^*$ 物質 (KPM)を構成する。

それは 中性子の塊よりも軽くなり、どこへも崩壊できなくなる。

$\Lambda^*$  ストレンジレット

# KPM

K 中間子陽子物質 (KPM) は、(負電荷の) K 中間子と陽子だけから成る高密度凝縮体のことで、素粒子・原子核・宇宙の研究の歴史に登場したことのない新物質である。最近、その原始形態である高密度 K 中間子核  $K\text{-pp}$  の理論・実験的研究を経て、この奇妙な物質の存在が議論されるようになった。この物質は電子を含まず、中性であり、励起可能な状態を持たない暗黒な安定物質であって、宇宙初期に反世界の消滅に伴って生まれた正反両世界の複合残存物であると想像される。

また、KPMは中性子星の生成・崩壊に伴い誕生しているかも知れない。

# 感謝

森永晴彦先生の生き生きとした  
ユニークな発想

多彩な科学が生まれてきた

