

キックオフシンポジウム

「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」

Kickoff Symposium--Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems

FY 2018-2022

中村隆司 (東工大、領域代表) Takashi Nakamura

A01 クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構(代表: 志垣賢太)

Dynamics to bridge quark and hadron hierarchies (K.Shigaki)

A02 クォーククラスターで読み解くクォーク・ハドロン階層構造(代表: 大西宏明)

Elucidation of hierarchical structure between hadron and phases by means of quark clusters (H.Ohnishi)

B01 ストレンジ・ハドロンクラスターで探る物質の階層構造(代表: 田村裕和)

Clusters of strange hadrons for investigating hierarchical structure of matter (H.Tamura)

B02 エキゾチック核子多体系で紐解く物質の階層構造(代表: 中村隆司)

Exotic nuclei for investigating hierarchical structure of matter (T. Nakamura)

C01 極低温原子で紐解く階層横断エキゾチック物性現象(代表: 高橋義朗)

Ultracold atom study of exotic phenomena bridging different hierarchies (Y. Takahashi)

C02 物質の階層変化および状態変化に伴う普遍的物理(代表: 堀越宗一)

Universal Physics of quantum matter at the change of the hierarchy and the state (M.Horikoshi)

D01 第一原理計算から明らかにする階層構造の発現機構(代表: 肥山詠美子)

Emergence of mechanism of hierarchical structure of matter studied by ab-initio calculations (E. Hiyama)

経緯 (Some history)

- FY 2012-2016: Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas “**Nuclear Matter in neutron stars investigated by experimental and astronomical observations**”(PI: H. TAMURAI)「新学術領域：実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」(田村裕和) → Very Successful:
e.g. Ultracold atom → EOS of Neutron star matter (M.Horikoshi, Ohashi)
- 2016/9 @Miyazaki U: Discussions at Japanese Pub (居酒屋での議論)
- 2016/9-10: Brain Storming → Clustering/Few-body physics → 階層構造(Hierarchy) → Start New Research area 新学術領域開始の決心(Grant-in-Aid for Scientific Research on I.A.)
- 2016/11 Application submitted (最初の申請) → Failed for the 1st round (ヒアリングにも呼ばれなかった)
- 2017/3 WS@U. Osaka
- 2017/9/13 Symposium @JPS meeting at Utsunomiya U.
- 2017/11 Application submitted
- 2017/2 Passed 1st round --> Application of Group Research (Submitted in Mar.)
- 2017/3/30-31 WS@Tokyo Tech
- 2017/5 Hearing (Review)
- 2017/6 Approved

What we would like to realize

- Establish Collaborations Practically
among researches in different hierarchies
階層を超えた実質的コラボレーションを実現したい
- Establish a new research field, “Hierarchy-of-Matter Science”
量子多体系の新しい研究分野「物質階層科学」を構築したい

We have already many research seeds, and we expect more!

All the sciences, and not just the sciences but all the efforts of intellectual kinds, are an endeavor to see the connections of the hierarchies.

*Richard P. Feynman,
The Character of Physical Law*

量子クラスターで読み解く物質の階層構造 --本新学術領域の概要

Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems --Overview

中村隆司 (領域代表)

Takashi Nakamura

Tokyo Institute of Technology

*Kickoff Symposium, "Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems",
O-Okayama Campus, Tokyo Institute of Technology, Nov. 19-20, 2018*

Contents

- Introduction
- Semi-Hierarchy セミ階層
- Why Now? なぜ今、階層構造？
- Key factors for clustering/hierarchy 鍵
- Seven Research Groups 計画研究の概要
- Bridging Hierarchies どうやって階層をつなぐか
- Activities of Board of Directors 総括班活動
- Summary まとめ

Existence of human being depends on a subtle balance of Nature

人間の存在は自然の絶妙なバランスで決まっている

There are no particle-stable $A=$ “5” and “8” nuclei in nature

$^1\text{H}, ^2\text{D}, ^3\text{He}, ^4\text{He},$ **(5)** $, ^6\text{Li}, ^7\text{Li},$ **(8)** $, ^9\text{Be}, ^{10}\text{B}, \dots, ^{209}\text{Bi}$

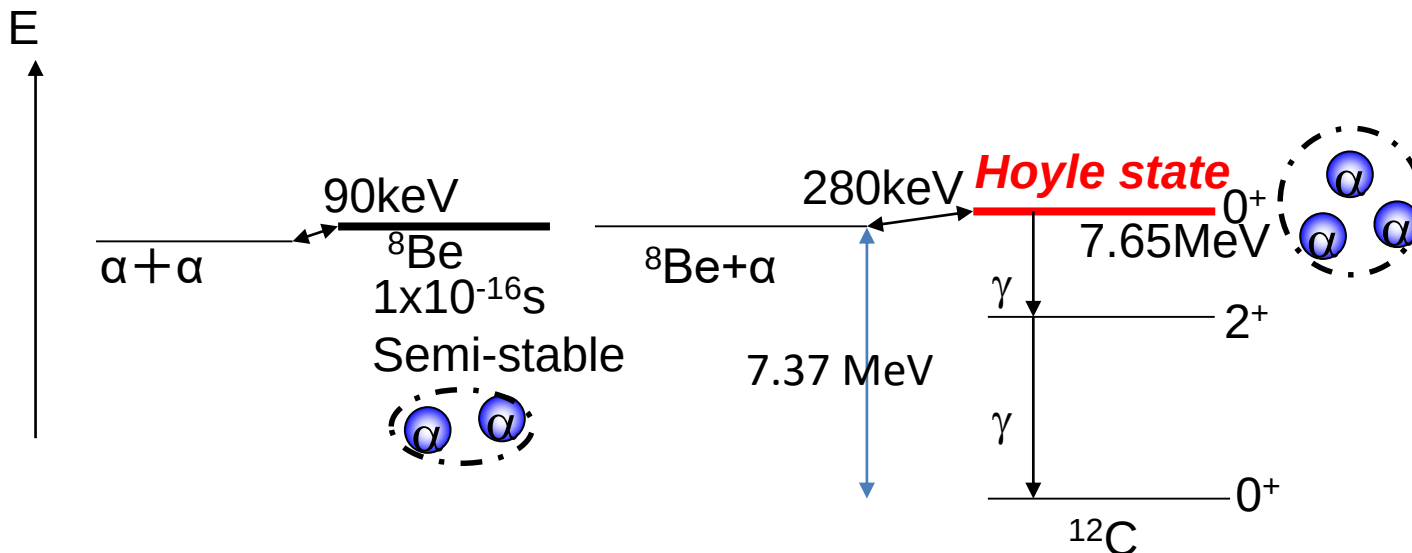
質量数5, 8は欠番

Big Bang: Mostly H and ^4He (Heavier than ^7Li were not produced)

→ **How are heavier elements synthesized?**

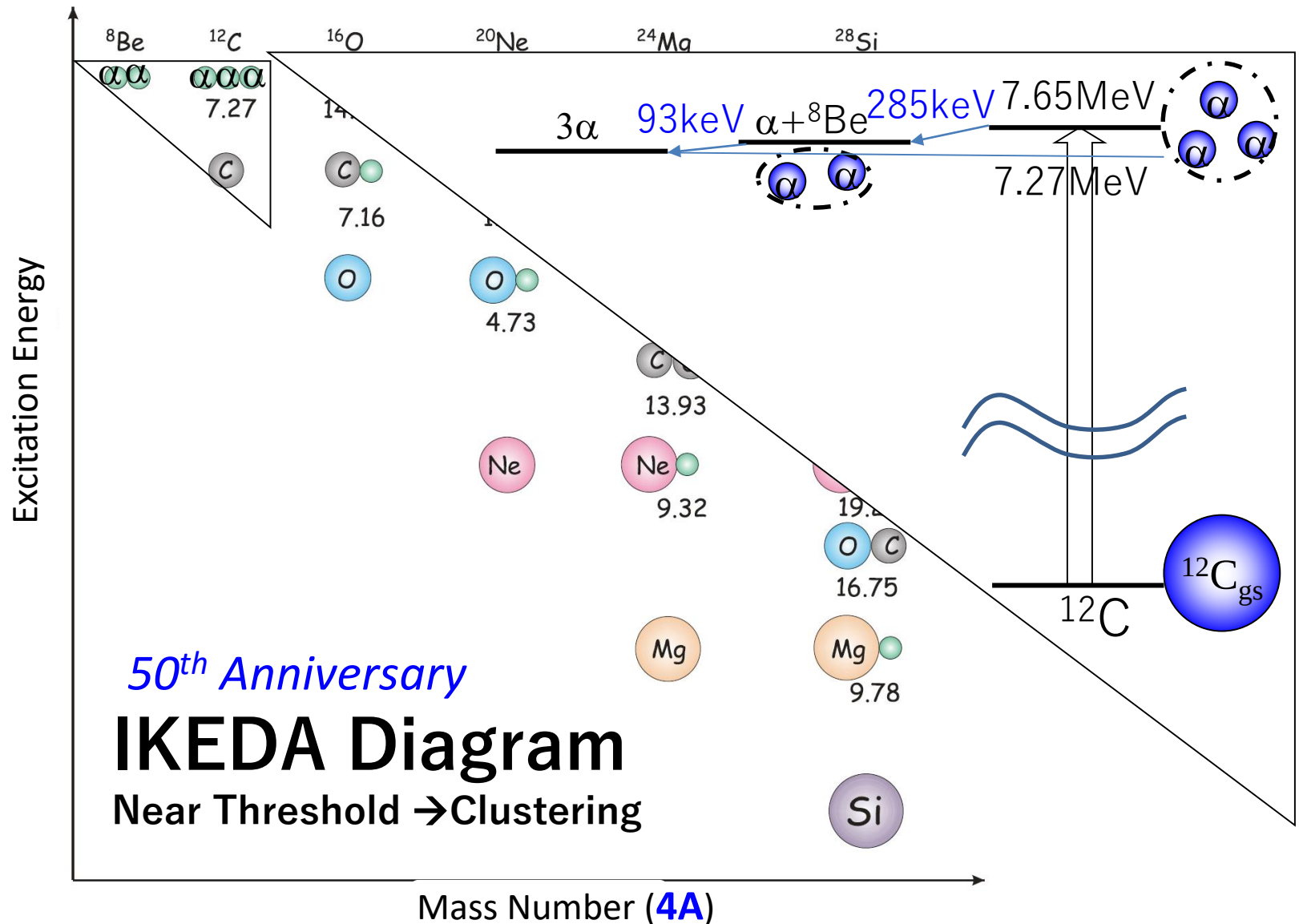
Triple α Reaction

Detour for the synthesis of element ^{12}C → Heavier elements



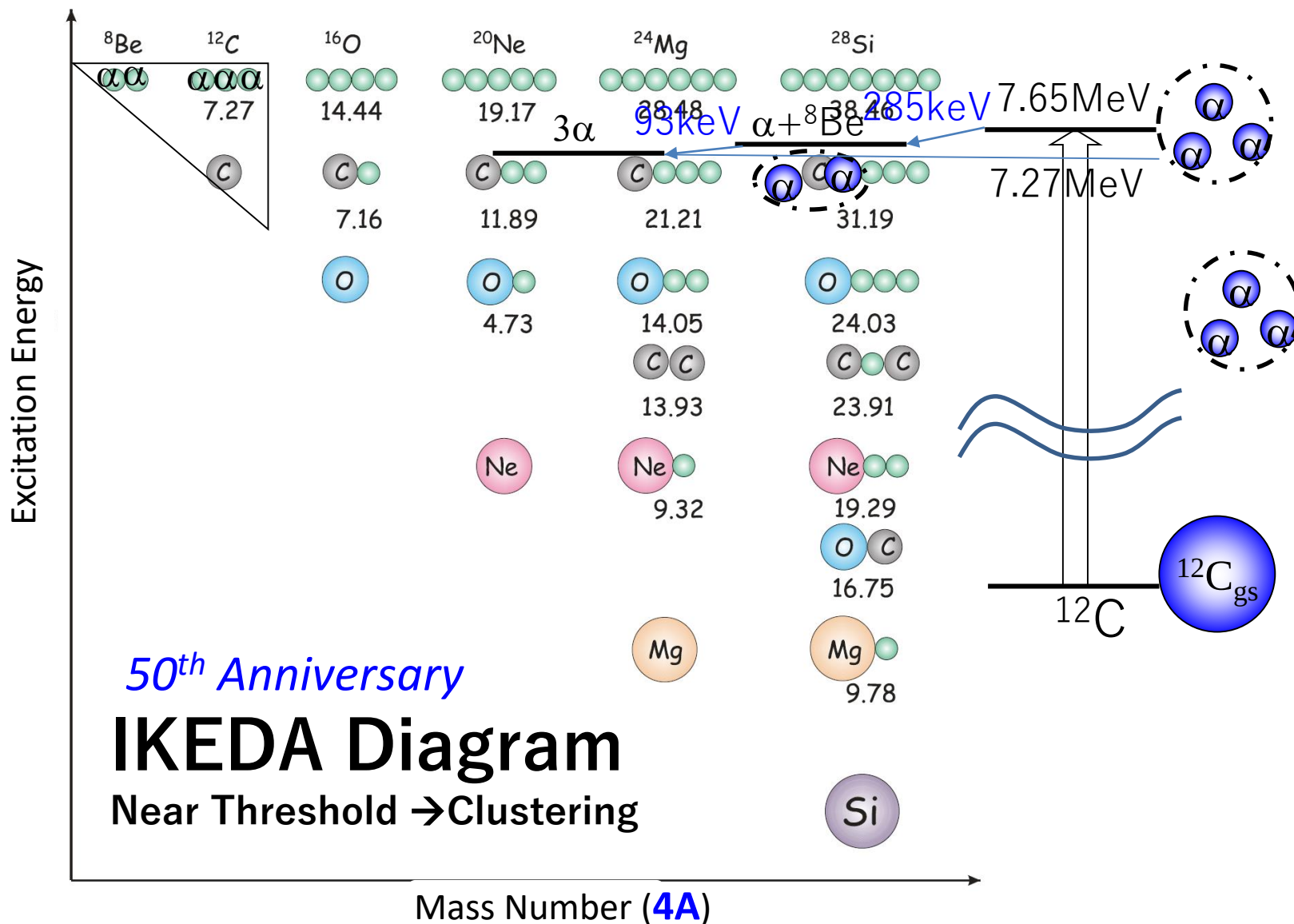
α -Cluster

K.Ikeda, N.Takigawa, H.Horiuchi, Prog.Theo.Phys.Suppl.464.(1968).
M.Freer, Rep. Prog. Phys. 70, 2149 (2007).



α -Cluster

K.Ikeda, N.Takigawa, H.Horiuchi, Prog.Theo.Phys.Suppl.464.(1968).
M.Freer, Rep. Prog. Phys. 70, 2149 (2007).



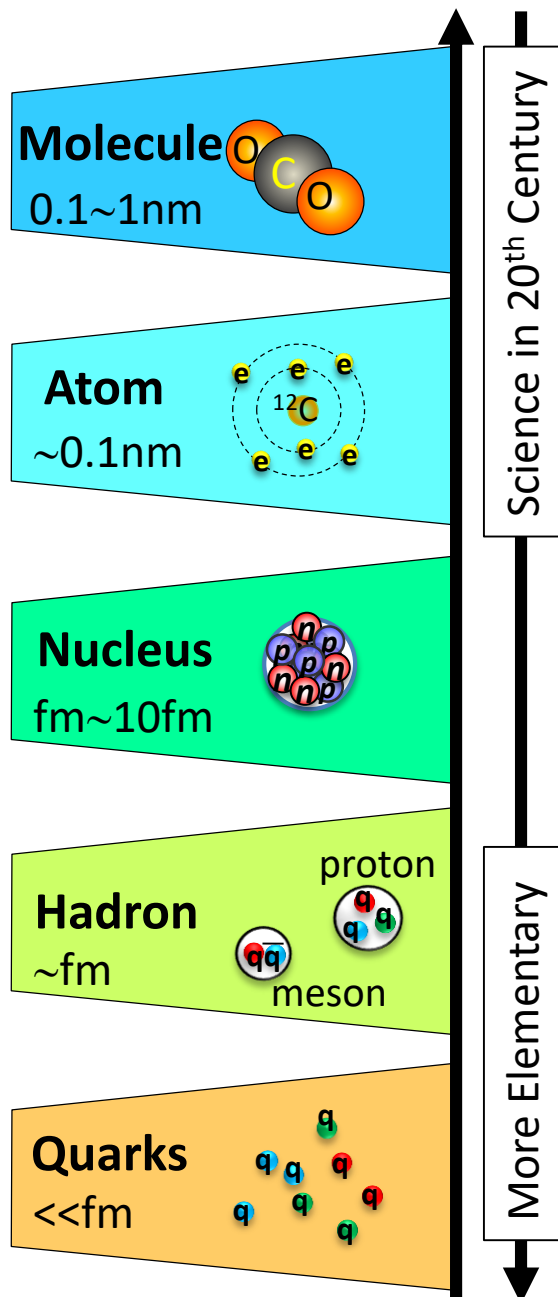
Why hierarchy is formed in quantum particles ?

微視的粒子の世界に階層構造がどうして形成されたのか

Fundamental Question But Unresolved

→ *Not necessarily investigated*

- *Research Areas : Independently evolved*
- *Connection between hierarchies: Unclear*



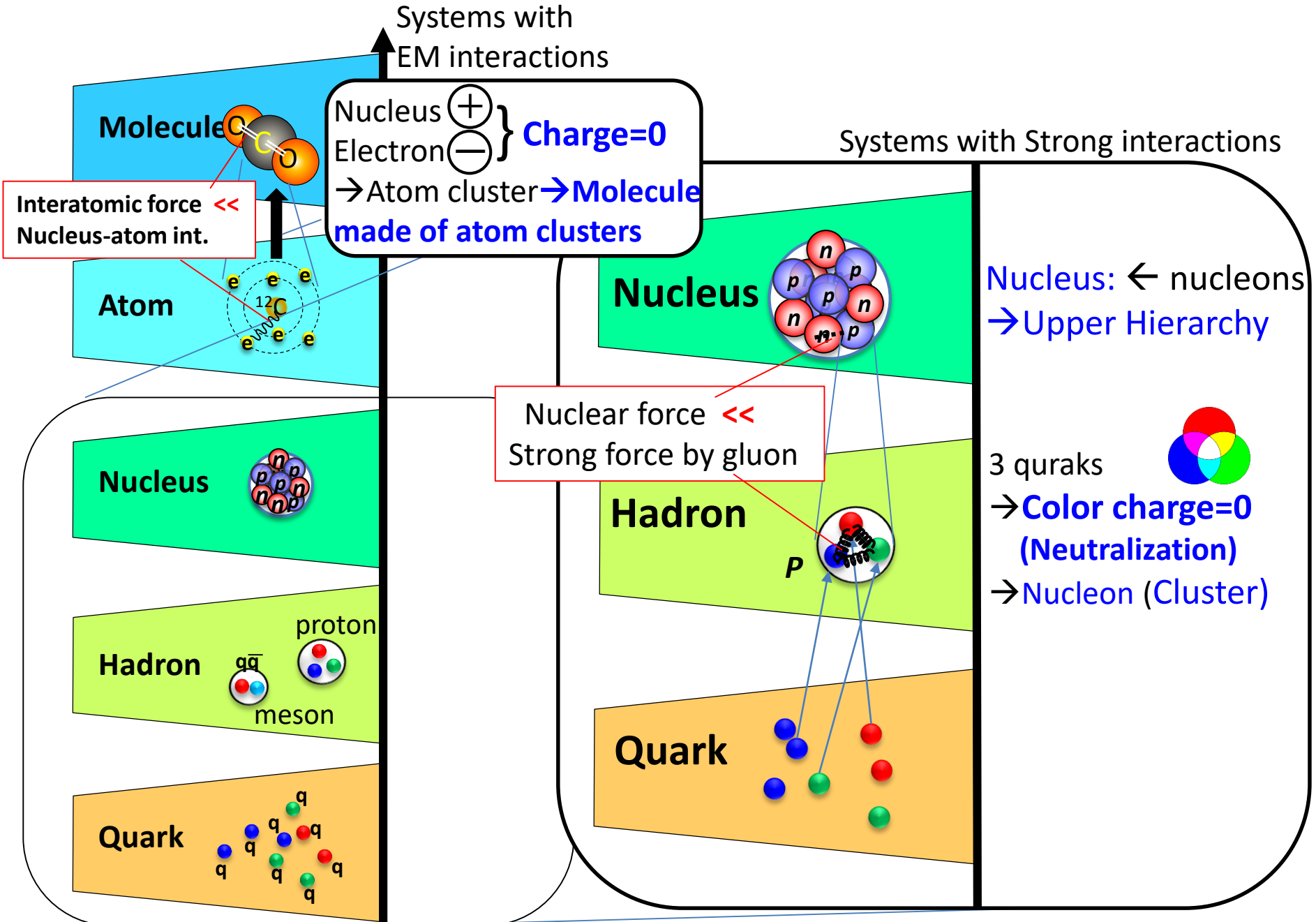
~380kY : Clear up of the Universe 宇宙の晴上がり
Nucleus+electrons → Atom → Molecule

~3min : Big Bang Nucleosynthesis ビックバン元素合成
nucleon (p, n) → ${}^4\text{He}$ nucleus

~0.01ms : QCD Phase Transition QCD相転移

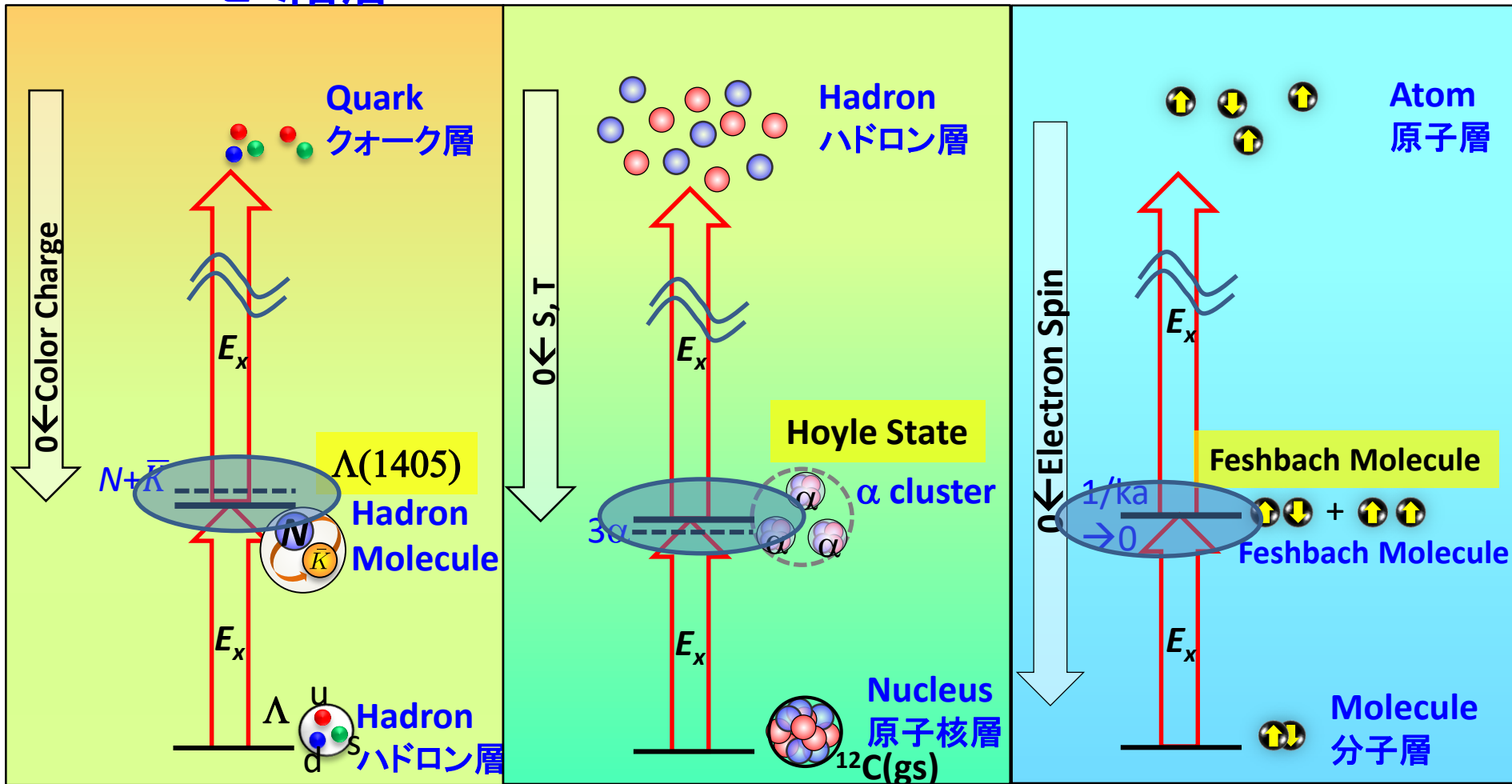
Big Bang

Clustering: Key to understand **hierarchy** in quantum world?



Semi-Hierarchy: Clustering and Hierarchy of Matter

セミ階層



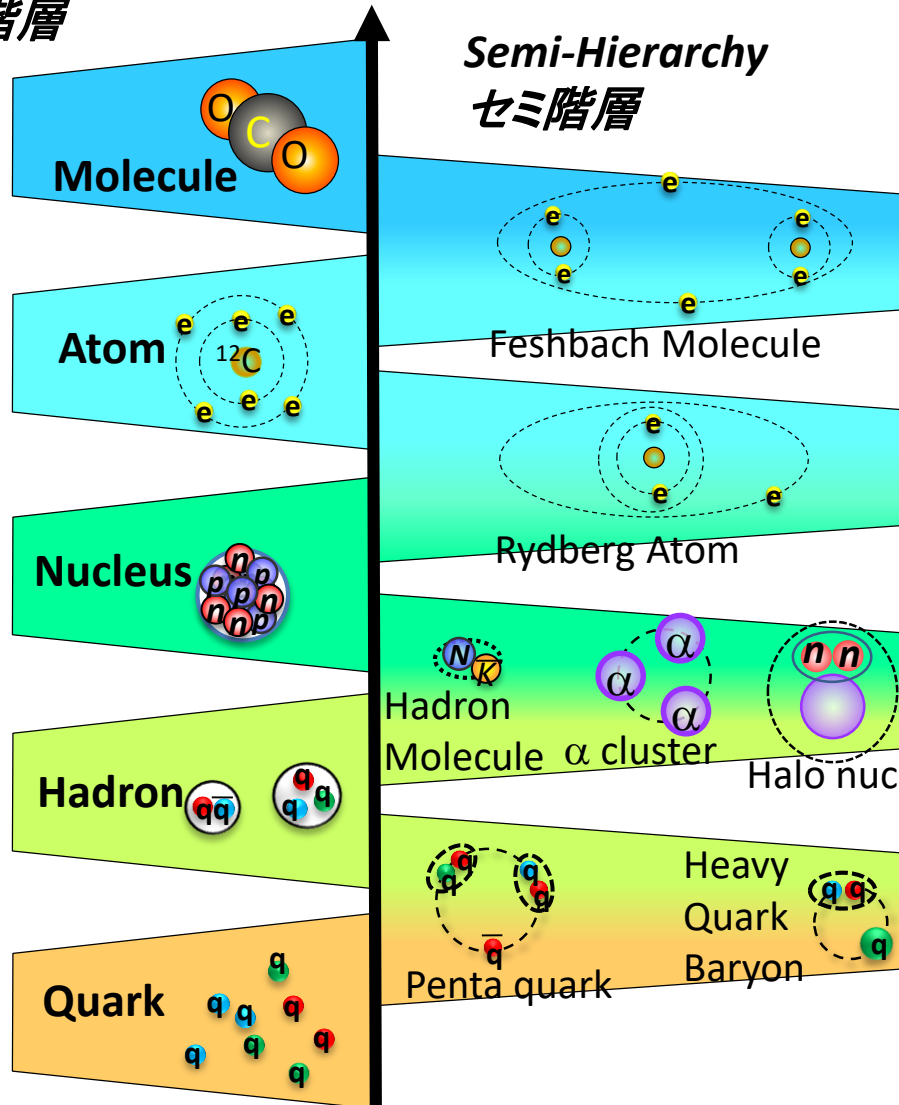
- ✓ Threshold: Clustering near Threshold $\rightarrow$ **Semi-Hierarchy**
- ✓ Degree of Freedom: Neutralization of Charge, Spin(S), Isospin(T)

Clusters and Semi-Hierarchy

Conventional Hierarchy 従来型階層

Semi-Hierarchy セミ階層

- ✓ Big Gap between Hierarchies
- ✓ **Strongly Bound**
強束縛
- ✓ Simple constituents:
Nucleus=
"nucleonic" system



- ✓ Smaller Gap between Hierarchies
- ✓ **Weakly Bound (Unbound)**
弱束縛(弱非束縛)
- ✓ Mixed constituents:
Halo Nucleus
="nucleonic" + "dineutron" system



Semi-Hierarchy:
Key Aspects to
understand the
hierarchical
structure of matter

Why Now? どうして今、階層構造?

Three Sacred Treasures 3種の神器 !

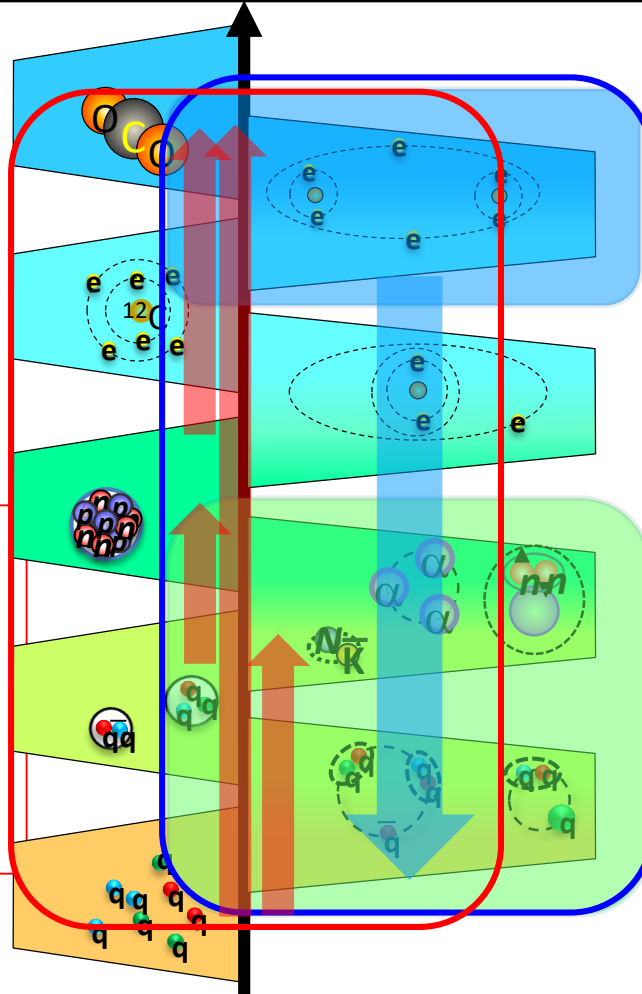


Super Computer



✓ 1st-principles Calculations

Lattice QCD
Exact few-body Calc.
Molecular Dynamics



✓ Ultra Cold Atoms:
Interactions can be tuned
→ Universal Properties of
many-body quantum systems

"Cold-atom experiments"
Quantum Simulator

✓ New-generation Accelerators

→ Novel Clusters/Correlations



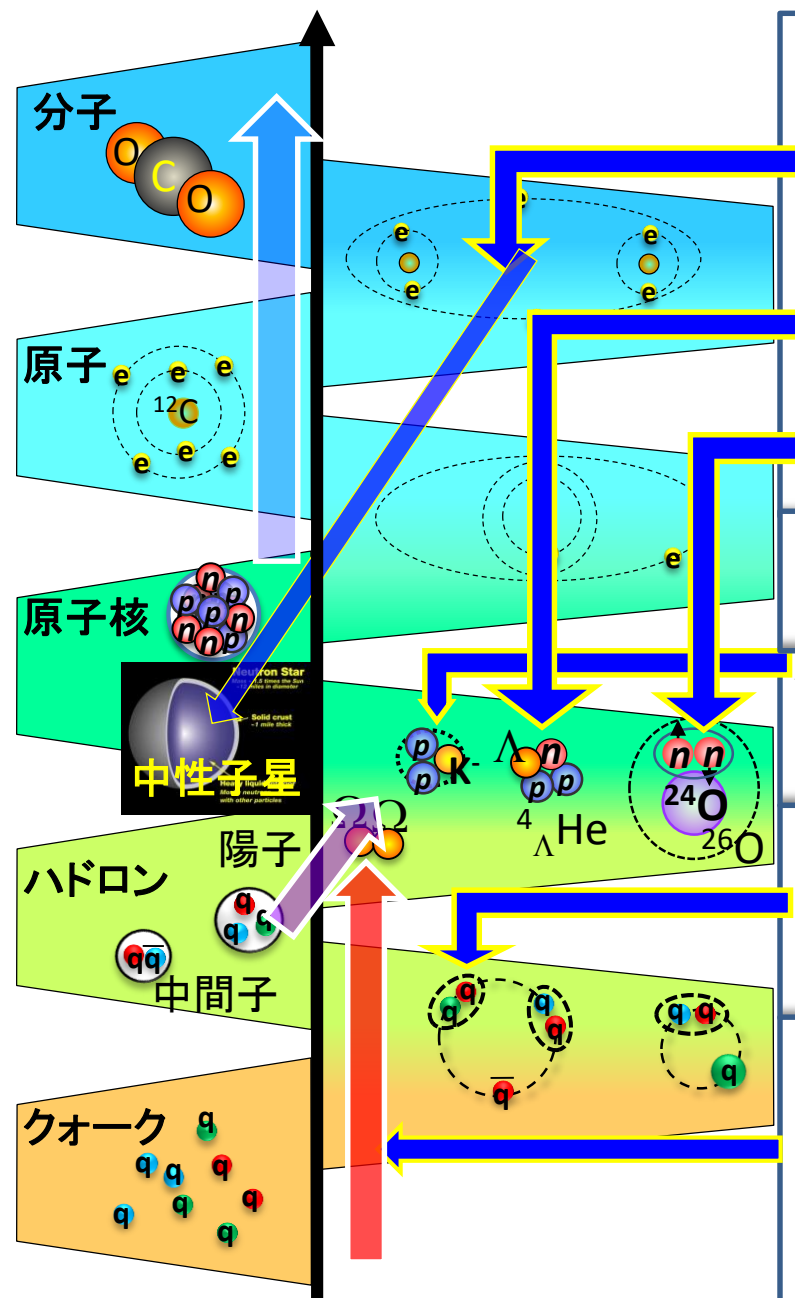
+ RCNP
CERN/LHC



New-gen. Accelerators × Ultra-cold atoms × 1st-principles Calc.

→ Collaborations → New research area that leads the world

Research Achievements So far 本領域研究につながるこれまでの成果



新学術領域H24-28「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」

(代表: 田村裕和, 本領域B01代表) H24-28

✓ 冷却原子系による中性子星核物質の状態方程式 (堀越)

Phys.Rev.X 7, 041004 (2017). 冷却原子実験→量子シミュレーター

✓ 荷電対称性をやぶる4体系ハイパー核 (田村ら)

Phys.Rev.Lett. **115**, 222501(2016). PRL Editor's Choice プレスリリース

✓ ミハイパー核束縛状態の発見 (高橋(俊)ら)

PTEP **2015**, 033D02 (2015). プレスリリース, **物理学会論文賞**

✓ ^{26}O : ダイ中性子候補核: 弱非束縛性を特定 (中村ら)

Phys.Rev.Lett. **116**, 102503(2016). プレスリリース

基盤S, 2013-2017(代表 高橋(義) 本領域C01代表)

✓ 巨大な質量比を持つ量子気体混合系の衝突特性解明

(高橋ら) NJP, **19**, 103039(2017). Selected as Highlight of 2017 collection

特定領域研究H17-21(代表: 永江、本領域B01分担)

✓ K中間子原子核(K-pp)束縛状態の証拠をとらえた (永江ら)

PTEP **2014**, 101D03(2014), PTEP **2016**, 051D01(2016)等

新学術領域H21-25「多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究(代表: 飯嶋徹)

✓ b-b-barクォークを含む新粒子 Z_b を発見 (保坂ら)

(review) PTEP **2016**, 062C01 (2016).

✓ 少数系厳密計算によるダイバリオンの構造計算

(肥山) Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. **68** (2017) in press

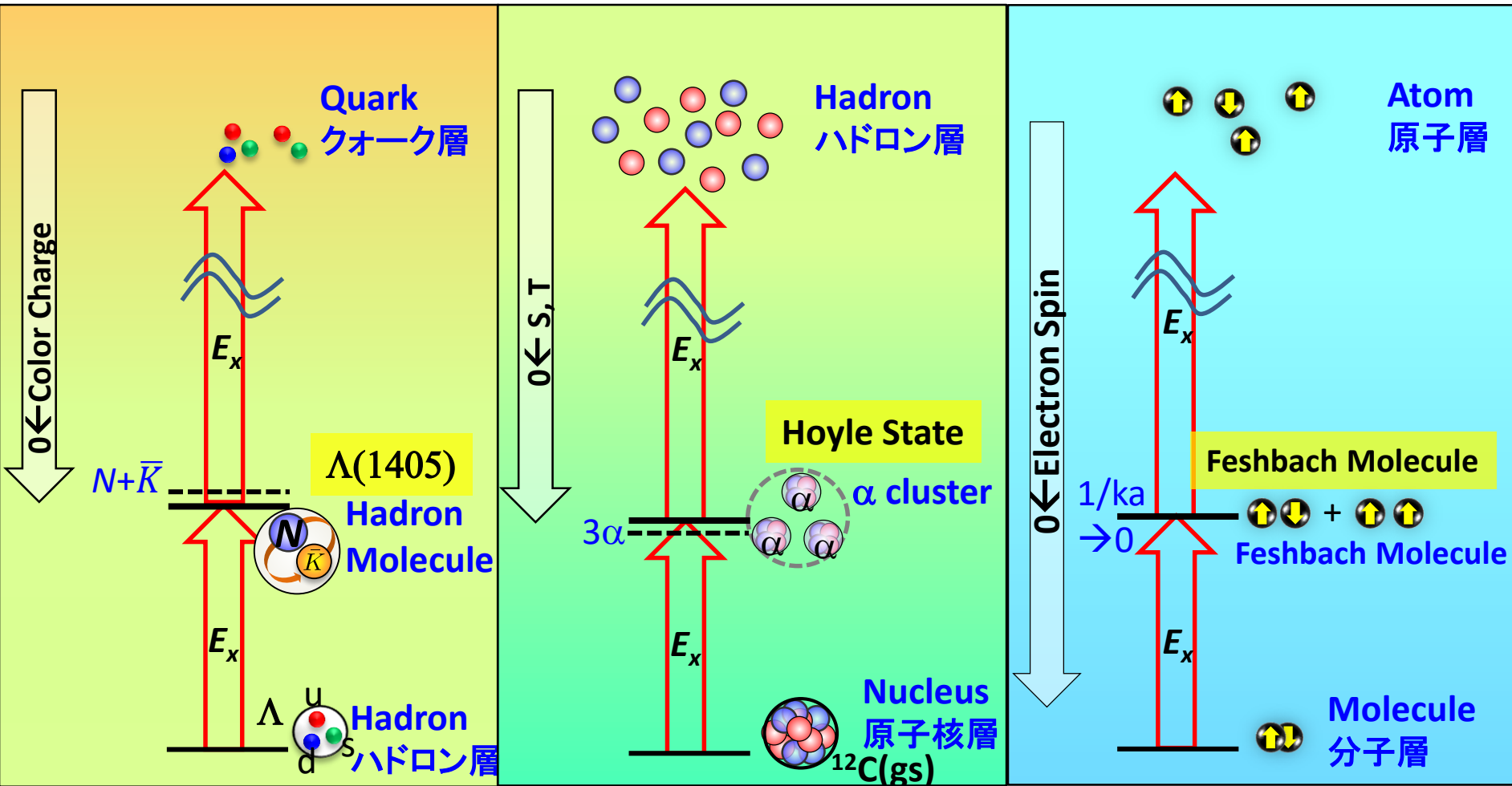
✓ 格子QCDによるダイバリオンの第一原理計算 (土井ら)

(HAL Coll.) arXiv:1709.00654[hep-lat], Phys. Rev. Lett. in press

✓ 原子核と電子の自由度を第一原理的に取り入れた量子分子動力学法 (金) J. Phys.Chem.Lett. **8**. 3595 (2017).

Three-Key factors for clustering and hierarchy formation

- ✓ Degree of Freedom(自由度): Neutralization of Charge, Spin(S), Isospin(T)
- ✓ Threshold (閾値則): Clustering near Threshold $\rightarrow$ Semi-Hierarchy
- ✓ Degree of Separation(分離度): Compositeness, Spectroscopic factor



One more Key Factor:

Interactions → Clustering → Hierarchy

力「相互作用」

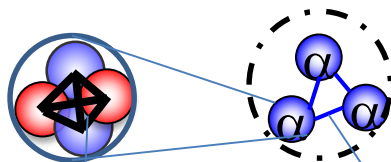
クラスター

階層構造

Key: Understand “the force”:

→ Clustering: Strong Inside, Weak Outside

中は強く、外は弱く



NN interaction >> $\alpha\alpha$ interaction
(Strong Inside) (Weak Outside)

→ (Semi)-Hierarchy

α -cluster nucleus: Fixed “ a_{nn} , $a_{\alpha\alpha}$ ”

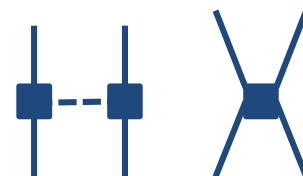
→ Ultracold atom: “ a_s ” can be tuned

→ Exotic nuclei/Hyper nuclei very different “ a ”

→ 3N force

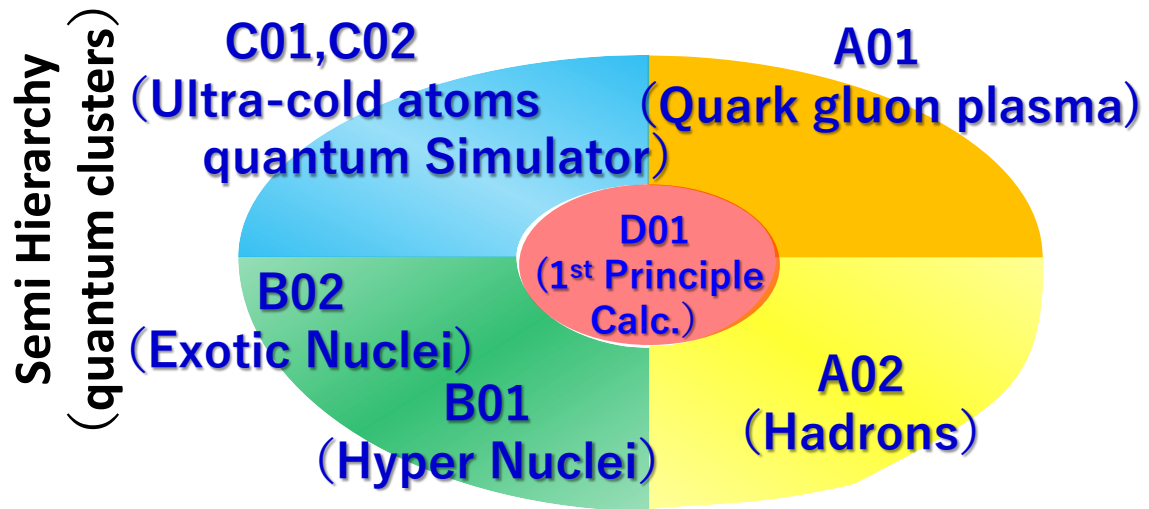
→ Effective interactions (Medium effect)

→ Understand the force from more fundamental level (Lattice QCD etc.)



Research Groups

計画研究



A01 クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構(代表: 志垣賢太)

Dynamics to bridge quark and hadron hierarchies (K.Shigaki)

A02 クォーククラスターで読み解くクォーク・ハドロン階層構造(代表: 大西宏明)

Elucidation of hierarchical structure between hadron and phases by means of quark clusters (H.Ohnishi)

B01 ストレンジ・ハドロンクラスターで探る物質の階層構造(代表: 田村裕和)

Clusters of strange hadrons for investigating hierarchical structure of matter (H.Tamura)

B02 エキゾチック核子多体系で紐解く物質の階層構造(代表: 中村隆司)

Exotic nuclei for investigating hierarchical structure of matter (T. Nakamura)

C01 極低温原子で紐解く階層横断エキゾチック物性現象(代表: 高橋義朗)

Ultracold atom study of exotic phenomena bridging different hierarchies (Y. Takahashi)

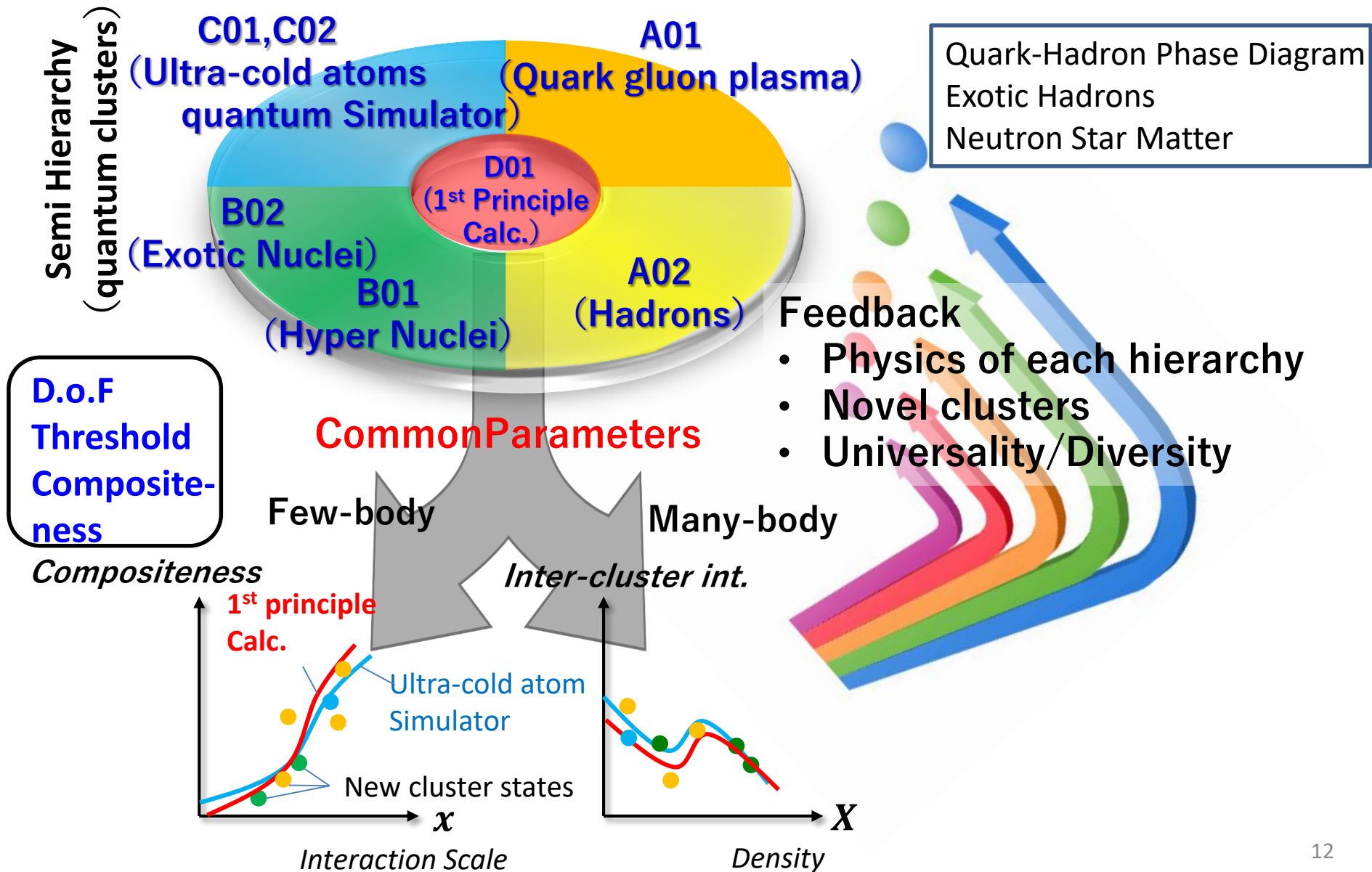
C02 物質の階層変化および状態変化に伴う普遍的物理(代表: 堀越宗一)

Universal Physics of quantum matter at the change of the hierarchy and the state (M.Horikoshi)

D01 第一原理計算から明らかにする階層構造の発現機構(代表: 肥山詠美子)

Emergence of mechanism of hierarchical structure of matter studied by ab-initio calculations (E. Hiyama)

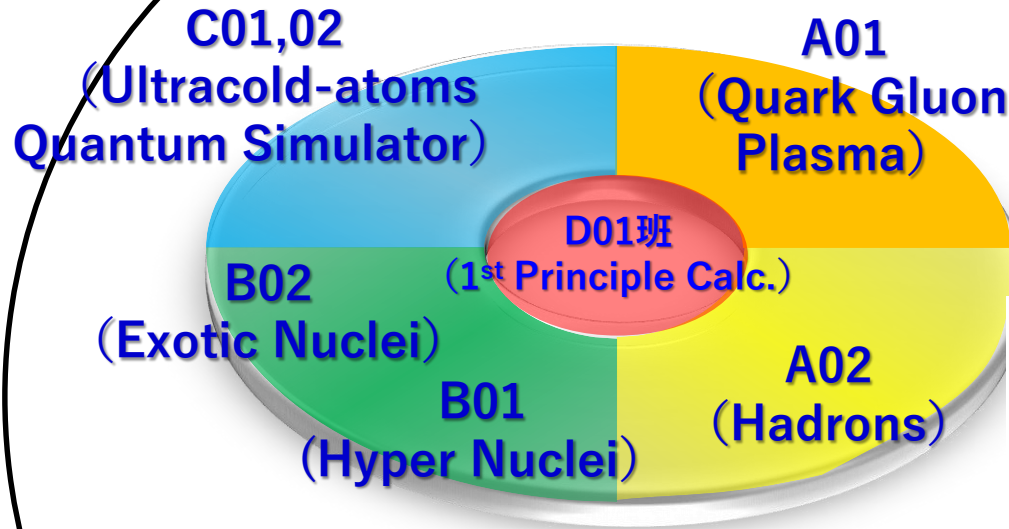
Bridging Hierarchies



Activities of Board of Directors

総括班の主要活動

総括班 Board of Directors



- ✓ 国際レクチャーシリーズ
(International Lecture Series)
- ✓ 物質階層を横断する会
(Bridging Hierarchies: Topical WS)

Establish Collaborations among different fields → Board-of-directors meetings, News Letter

強固な分野横断型連携の醸成 → 総括班会議、領域ニュース

Workshop/Symposium, Int.WS, Detector WS 分野横断型研究会・国際WS・検出器WS

Promotion of International Collaboration 国際活動支援

School for young researchers/students 若手向けスクール・若手プロモート

Public Outreach 広報・アウトリーチ

Establish practical collaboration/consortium bridging different hierarchies of matter in this innovative research area !

Summary: What we are aiming at?

Ultracold atoms

→ Quantum Simulator

→ Universality

Hadrons/Quarks

→ Existence/Properties of Exotic hadrons

C01,02
(Ultracold-atoms
Quantum Simulator)

A01
(Quark Gluon
Plasma)

B02
(Exotic Nuclei)

D01班
(1st Principle Calc.)

A02
(Hadrons)

B01
(Hyper Nuclei)

Nuclei

→ Existence/Properties of exotic/hyper nuclei

First-Principle Calculations

Lower Level → Upper Level
Establish Key Index

Simi-Hierarchy, Novel quantum clusters/particles

Keys: Interactions, D.o.F, Threshold rule, Deg. of Separability

→ Universality/Diversity of matter

→ Mechanism of Clustering/Formation of Hierarchy of matter

Hierarchy-of-matter Science

backup

公募研究

本領域研究の目的「階層構造・クラスター形成の解明、サブ階層の新奇クラスターの解明、階層をつなぐ現象・法則の解明」の達成を補完する相補的研究を取り入れる。

A班、B班、C班(実験): 9件(H31-32)総額2600万円/年, 12件(H33-34)総額3500万円/年
D班(理論): 6件(H31-32)総額600万円/年, 8件(H33-34)総額800万円/年

各計画研究に付随して期待される公募研究

- A01 (クォークグルーオンプラズマ実験): ハドロン形成探査(米国RHIC)
- A02 (ハドロン実験): KEK/Belle-IIにおける新形態ハドロン探索実験
- B01 (ハイパー核): Λ nn探索実験(米国J-LAB), $^3_\Lambda\text{H}$ ハイパー核(ドイツMainz)
- B02 (不安定核): 中性子過剰 α クラスター(RIBF), 多重 α クラスター(RCNP)
- C01 (少数量子系の冷却原子量子シミュレーション): 冷却原子分子混合系、非局在原子と局在不純物との相互作用
- C02 (多体量子系の冷却原子量子シミュレーション): 電子・正孔系、イオンクラスター、リュドベルグ原子系、低温原子・分子系の物性研究
- D01 (理論・第一原理計算): クォーク・ハドロン相転移・相図、冷却原子の普遍性、 α 凝縮等

その他関連分野: 分子より上の階層構造関連、非平衡物理、クラスター科学等
学術研究を主軸とするが本領域の目的達成に重要で相補的役割を果たすものは
応用であっても取り入れたい

海外の動向と本研究

- 海外: 階層をつなぐさまざまな研究が進展中(下記)
- 海外: 理論が先行
- 本研究: ハドロン・原子核・原子・分子分野が理論・実験両面でコンソーシアムを組み、これだけの規模で連携研究するのは世界初!

国際研究集会の例

- Workshop "Few-body Universality in Atomic and Nuclear Physics: Recent Experimental and Theoretical Advances", INT, U. of Washington, May, 2014 (中村、肥山、招待講演)
- Workshop "Hadrons and Nuclear Physics meet ultracold atoms", Institute Henri Poincare, Paris, France, 29/Jan-2/Feb, 2018. (中村、肥山、招待講演)
- Int. Workshop "Exploring Nuclear Physics with Ultracold Atoms", ECT*, Trento Italy, 18-22, June, 2018. (堀越: 招待講演)
- "Multi-Scale Problems Using Effective Field Theories", INT, U. of Washington, USA, 2018.

論文の例

- "Nearly perfect fluidity: from cold atomic gases to hot quark gluon plasmas", Rep. Prog. Phys. **72**, 126001 (2009). 近完全流体: 冷却原子からクォークグルーオンプラズマまで
- "Nuclear Physics Around the Unitary Limit", Phys. Rev. Lett. **118**, 201501 (2017). ユニタリー極限での核物理 (ユニタリー極限は冷却原子で実現)

「階層」に関連する未解決の問題

-階層形成問題解決へのステップ-本領域で連携して取り組む

実験 理論 連携

$$\boxed{\text{A01}} + \boxed{\text{D01}} + \boxed{\text{C02}}$$

- クォークハドロン相図(QCD相図)

- 新形態ハドロン—X,Y,Zなどの4q,5q系はどのような系なのか.ダイクォークは存在するのか.ハドロン分子はどのように存在するのか.

$$\boxed{\text{A01}} \boxed{\text{A02}} \boxed{\text{B01}} + \boxed{\text{D01}} + \boxed{\text{C01}} \boxed{\text{B02}}$$

- バリオン間力・3体力—クォーク階層からどう理解されるか。ハドロン・原子核の第一原理的計算に不可欠,中性子星核物質理解の鍵

$$\boxed{\text{B01}} \boxed{\text{B02}} + \boxed{\text{D01}} + \boxed{\text{C01}} \boxed{\text{C02}}$$

- ダイ中性子・多中性子系 —中性子過剰核にダイ中性子は存在するのか.核表面にダイ中性子や多中性子クラスターが出現するか.自由度の中和.

$$\boxed{\text{B02}} + \boxed{\text{D01}} + \boxed{\text{C01}} \boxed{\text{C02}} \boxed{\text{A02}}$$

- 分子—原子内部(原子核)の自由度は原子クラスタ及び原子クラスタ群をどう決定づけるのか.

$$\boxed{\text{C01}} \boxed{\text{C02}} + \boxed{\text{D01}}$$

--本領域の直接の目的ではないが、密接に関連した未解決課題--

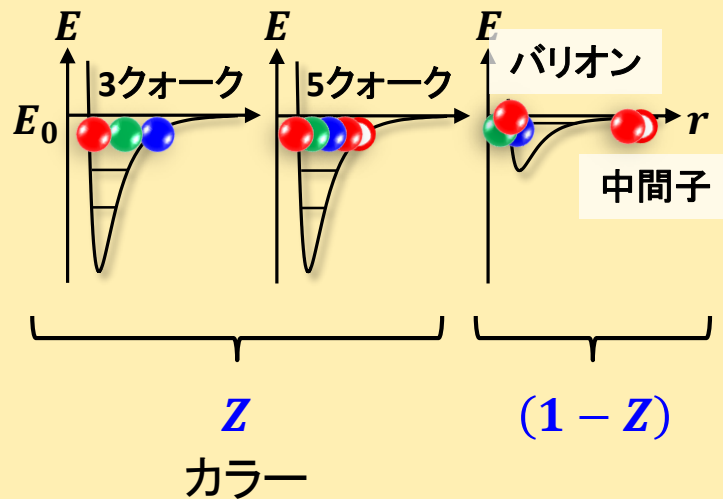
- 中性子星核物質—中性子星核物質の状態方程式は、どう書けるのか.

$$\boxed{\text{B01}} \boxed{\text{B02}} + \boxed{\text{D01}} + \boxed{\text{C01}} \boxed{\text{C02}}$$

分離度: クラスター成分の割合

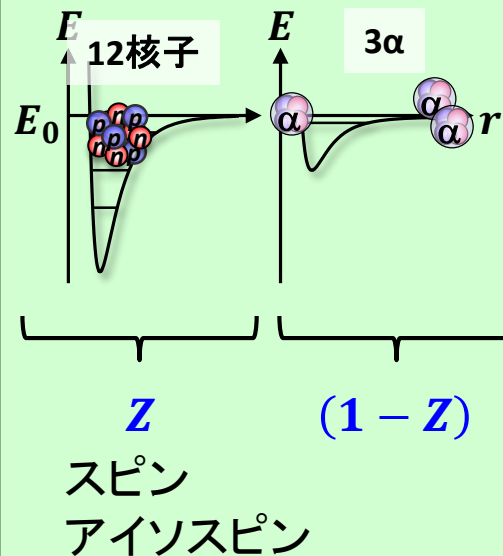
サブ階層の波動関数: $\psi = \sqrt{Z}\psi_{\text{粒子}} + \sqrt{1-Z}\psi_{\text{クラスター}}$
 分離度: $(1-Z)$

クォーク・ハドロンサブ階層



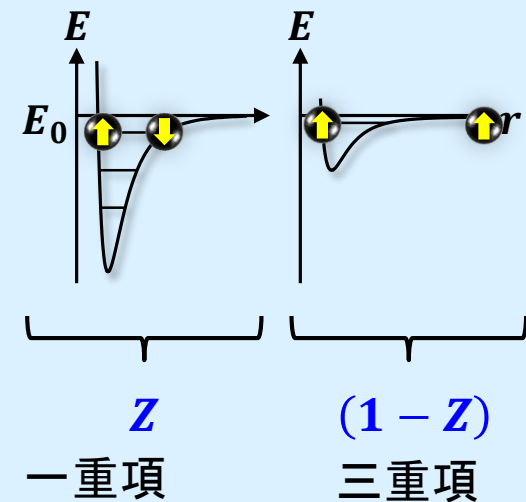
$\Lambda(1405)$

ハドロン・原子核サブ階層



ホイル状態

原子・分子サブ階層



フェッシュバツハ分子

本領域研究に向けて行った階層横断型研究会

物理学会 2017 年秋の分科会（宇都宮大学）2017 年 9 月 13 日 T12 会場 13pT12 13:30~17:15

実験核物理領域，理論核物理領域，素粒子実験領域，素粒子論領域，領域1合同シンポジウム(英語)

Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum systems

13:30-14:10	Clustering and hierarchical structure of strongly-interacting systems	Takashi Nakamura <i>Tokyo Tech. (Exp. Nucl. Phys.)</i>
14:10-14:35	Quark correlation and cluster	Hiroaki Ohnishi <i>ELPH, Tohoku U.</i>
14:35-15:00	Universal cluster science investigated by cold atom experiments	Munekazu Horikoshi <i>IPST, U. Tokyo</i>
15:00-15:15	Break	
15:15-15:45	Hadrons with colorful and colorless clusters	Makoto Oka <i>Tokyo Tech. (Theor. Nucl. Phys.)</i>
15:45-16:15	Clustering aspects in nuclear systems	Yoshiko Kanada-En'yo <i>Kyoto U.</i>
16:15-16:45	Clustering and percolation in nuclear and quark matter	Kenji Fukushima <i>U. Tokyo (Nucl. Phys. Theory)</i>
16:45-17:15	Universal clustering in cold atoms	Naidon Pascal <i>RIKEN</i>

ワークショップ 「クラスターがつなぐクォーク、ハドロン、原子核そして原子」
2017 年 3 月 16 日（木）10:00-16:30
大阪大学 吹田キャンパス 銀杏会館

10:00-10:10	はじめに：ワークショップの趣旨	中村隆司
10:10-10:25	ストレンジクォークを含むハドロン・クラスター	田村裕和
10:25-10:40	原子核に現れる核子クラスターの階層	中村隆司
10:40-10:55	クォーク系と核子系の階層を結ぶ三体力	関口仁子
10:55-11:10	大強度ハドロンビームで探るクォークの相関とクラスター	大西宏明
11:10-11:25	高輝度光ビームで探るクォークの相関とクラスター	奥曾井優
11:25-11:40	高エネルギー原子核衝突で探るクォークの相関とクラスター	志垣賢太
11:40-11:55	極低温原子気体で探るクォーク系・核子系の量子多体現象	堀越宗一
11:55-12:10	相関とクラスターで解説する階層構造の発現機構	肥山詠美子
Lunch		
13:30-13:50	Interactions between clusters on a lattice	土井琢身
13:50-14:10	ハドロンの複合性と低エネルギー普遍性	兵頭哲雄
14:10-14:30	Clustering in nuclear systems	延与佳子
14:30-14:50	Hierarchical structure of matter states and a unified description on the viewpoint of BCS-BEC	大橋洋士
Coffee Break		
15:10-15:30	対相関がつかぬクォーク物質と冷却原子気体	飯田圭
15:30-15:45	Search for alpha condensed state in sd-shell nuclei	川畑貴裕
15:45-16:00	大強度高運動量二次ビームで探る重いバリオン分光	野海博之
16:00-16:30	議論、総括	

研究会「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」

場所：東京工業大学 大岡山キャンパス 西9号館3階 W935講義室

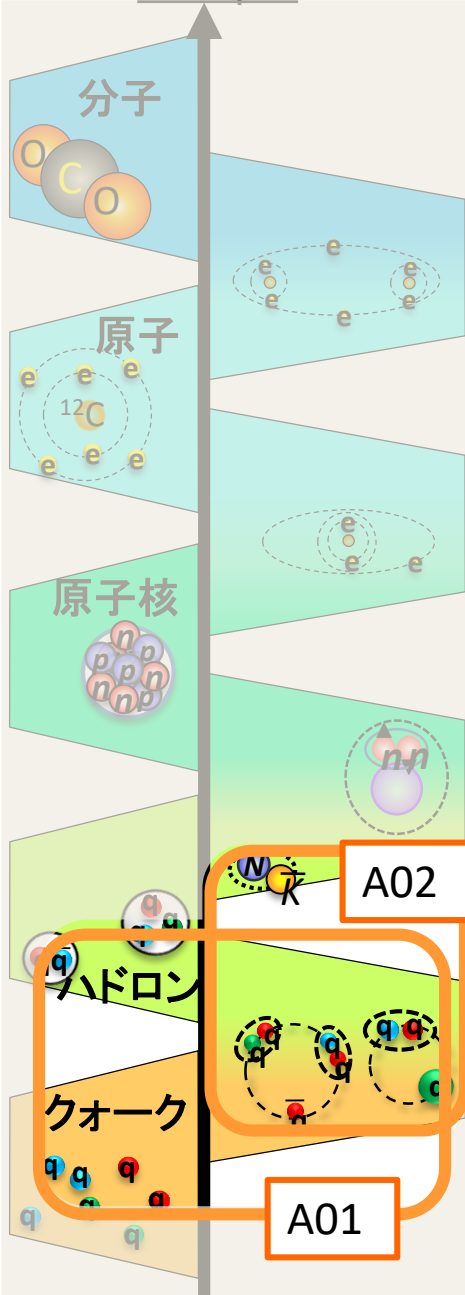
日時：2018年3月30日（金）31日（土）

3月30日(金)				
10:30	10:35	初めに	中村隆司	東京工業大学
10:35	11:05	量子クラスターで読み解く物質の階層構造一序	中村隆司	東京工業大学
11:05	11:35	原子核層とハドロン層を結ぶ三体核力	関口仁子	東北大学
11:35	12:05	微視的観点から見た原子核におけるクラスター構造	東崎昭弘	大阪大学核物理研究センター
		昼食	-	
13:20	13:50	散乱長と少数多体量子系の基礎物理	堀越宗一	東京大学
13:50	14:20	Bose-Einstein凝縮体中の不純物が示す普遍性	吉田周平	東京大学
14:20	14:50	冷却原子と原子核・ハドロン物理をつなぐ普遍性	西田祐介	東京工業大学
14:50	15:20	極低温原子で紐解く階層横断エキゾチック物性現象	高橋義朗	京都大学
		Break	-	
15:40	16:00	3体引力相互作用する1次元ボソンの量子液滴	関野裕太	東京工業大学
16:00	16:30	電子正孔系の物理	浅野建一	大阪大学理学研究科物理学専攻
16:30	17:30	ディスカッション	中村隆司	
18:00	20:00	懇親会	-	

3月31日(土)				
9:00	9:30	クォーククラスターで読み解くクォーク・ハドロン階層構造	大西宏明	東北大学電子光物理学研究センター
9:30	10:00	Can heavy quark probe spin, flavor and “diquark”?	保坂淳	阪大RCNP
10:00	10:30	クォーク層とハドロン層を結ぶ動的機構	志垣賢太	広島大学
		Break	-	
10:50	11:20	高密度核クォーク物質における階層構造	福嶋健二	東京大学理学系研究科物理学専攻
11:20	11:50	ダブルΛハイパー核とクラスター組み替え	藤岡宏之	京都大学
		昼食	-	
13:00	13:30	量子自己組織化と原子核の集団性	角田祐介	東京大学理学系研究科物理学専攻
13:30	14:00	直接反応で探る原子核のクラスター構造	川畑貴裕	京都大学
14:00	14:30	核子多体系の多核子相関	延与佳子	京都大学
		Break	-	
14:50	15:20	原子核と電子の自由度を取り入れた水素凝縮系の量子分子動力学法—孤立分子から固体まで—	金賢得	京都大学 大学院理学研究科化学専攻
15:20	15:50	第一原理計算によるハドロン物理・原子核・原子分子	肥山詠美子	九州大学/理研
15:50	16:20	ストレンジクォークを使ってハドロンから原子核の階層が生まれる理由を探る	田村裕和	東北大学
16:20	16:30	Closing	中村隆司	東京工業大学

計画研究A班

Group A



クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構

代表: 志垣賢太(広島大) 分担: 浜垣・中條・郡司

A01

クォーク流体からの新奇クラスターとハドロンの生成過程

K.Shigaki (PI): Dynamics to bridge quark and hadron hierarchies

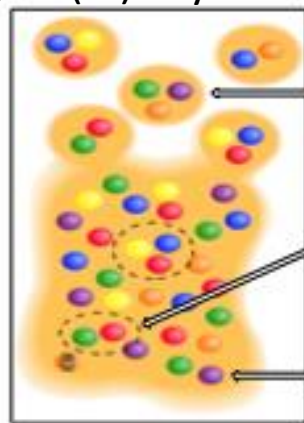
@CERN/LHC

(低温)

ハドロン層

(高温)

クォーク層



ハドロン

カラー荷 $\neq 0, S=0$
ダイクォーク
(サブ階層)

クォーク

- ✓ 高エネルギー原子核衝突によるクォーク流体の実現
- ✓ 再ハドロン化の動的機構の高統計究明
- ✓ ダイクォーク発現

A02

クォーククラスターで読み解くクォーク・ハドロン階層構造

代表: 大西宏明(東北大) 分担: 野海・與曾井・成木・新山・青木

バリオン共鳴状態の中に潜むダイクォーク、ハドロン分子を炙り出す

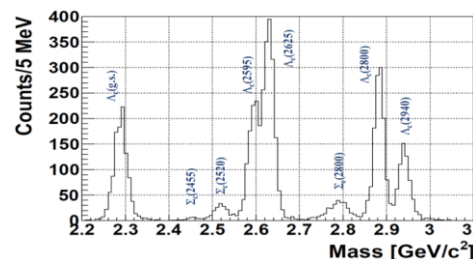
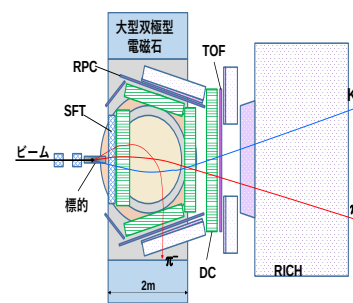
H.Ohnishi(PI): Elucidation of hierarchical structure between quark and hadron phases by means of quark clusters @ J-PARC & SPring-8

ダイクォーク

チャーム
バリオン

ハドロン分子

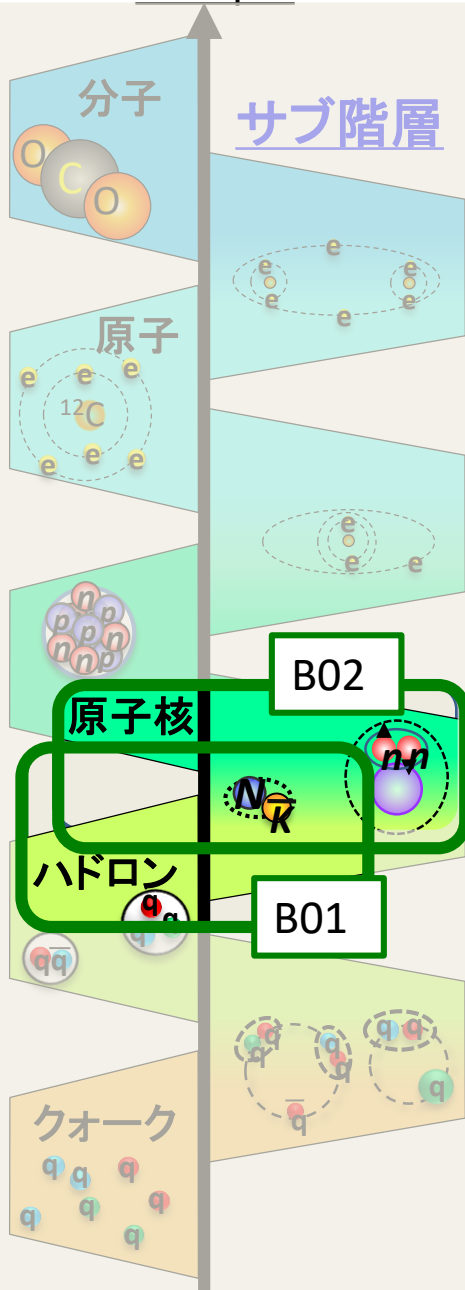
$\Lambda(1405)$



- ✓ チャームバリオン分光実験
- “ダイクォーク”

計画研究B班

Group B



B01 スレンジネス・ハドロンクラスターで探る物質の階層構造

代表: 田村裕和(東北大) 分担: 永江、高橋(俊) @J-PARC

バリオン間力(核力)の起源 と ハドロン分子サブ階層

H.Tamura (PI): Clusters of strange hadrons for investigating hierarchical structure of matter
ストレンジネス→クォーク自由度

Σp 散乱、 Λp 散乱実験

Ξ^- ハイパー核探索
($\Xi^- n$ =負電荷原子核)

世界初
Hダイバリオン(6q系) 探索

$\Lambda(1405)$ $\bar{K}NNN$ 核の構造

B02 エキゾチック核子多体系で紐解く物質の階層構造

代表: 中村隆司(東工大) 分担: 関口、若狭 @理研RIBF

多中性子クラスターで探るサブ階層と3体核力 @阪大RCNP

T.Nakamura (PI): Exotic nuclei for investigating hierarchical structure of matter

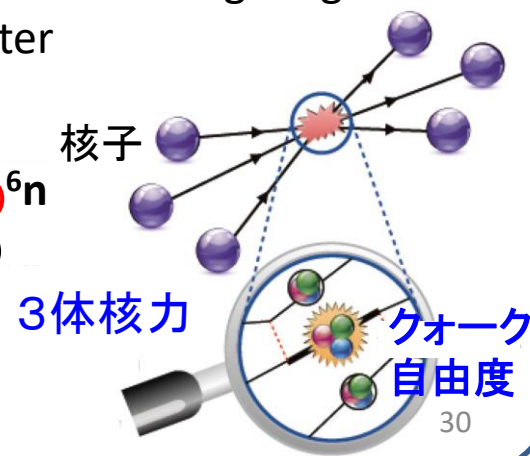
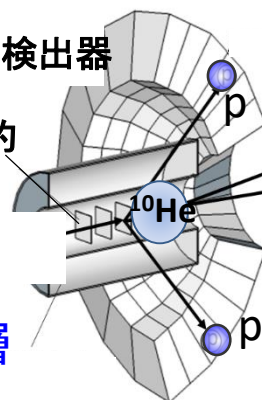
^{10}He

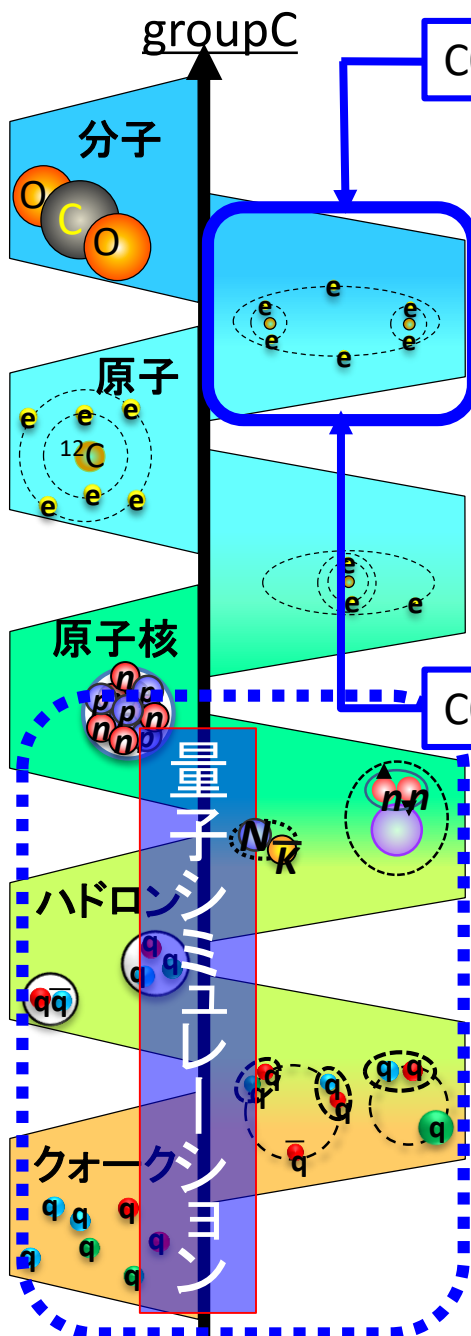
ダイ中性子
3対= 6n

6n (ヘキサ中性子)核
→ダイ中性子サブ階層

反跳陽子検出器

水素標的



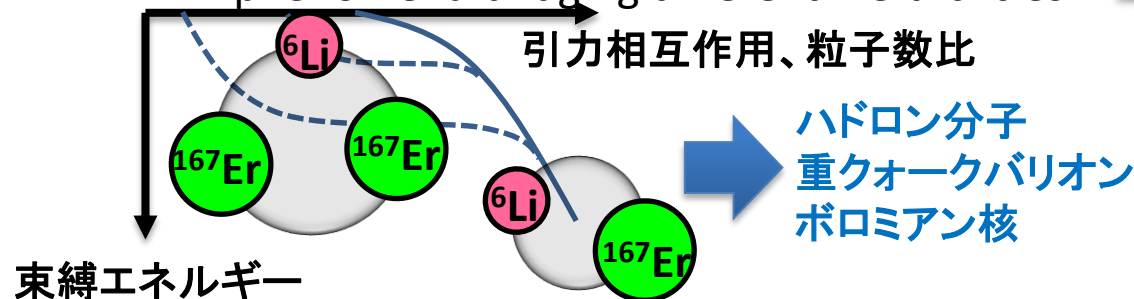


極低温原子で紐解く階層横断エキゾチック物性現象

代表: 高橋義朗(京大)

「少数系」からサブ階層の理解を目指す量子シミュレーション
 「束縛エネルギー測定」から多種多様の量子クラスターの
 波動関数を理解する

Y.Takahashi (PI): Ultracold atom study of exotic phenomena bridging different hierarchies



連携: ミクロな相互作用
 を起源とする量子マクロ
 現象の統一的理解

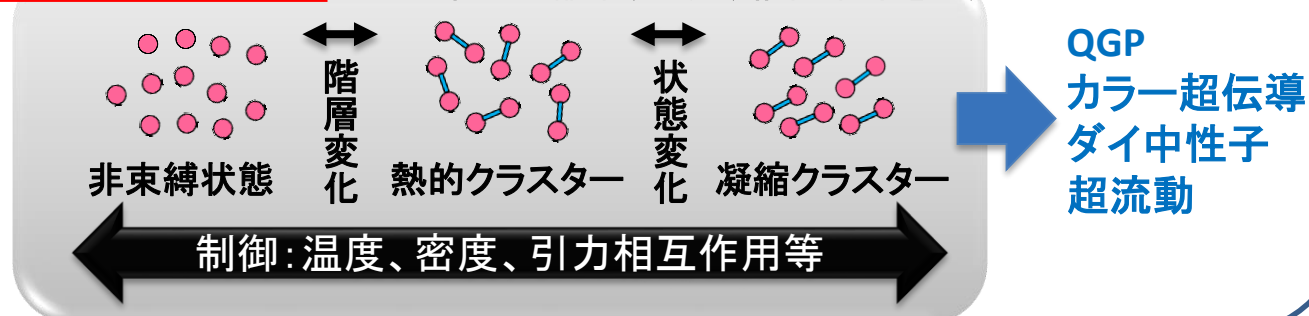
物質の階層変化および状態変化に伴う普遍的物理

代表: 堀越宗一(東大) 分担: 大橋、飯田

「多体系」からサブ階層の理解を目指す量子シミュレーション
 「物性測定」からクラスター間相互作用を理解する

H.Horikoshi (PI): Universal physics of quantum matter at the change of the hierarchy and the state

サブ階層に近い条件で量子系の圧縮率、比熱、粘性率等を測定



D01

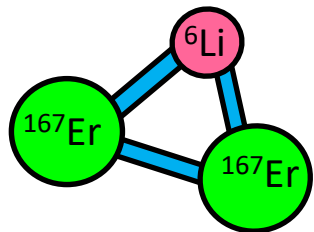
Group-D

E.Hiyama (PI): Emergence mechanism of hierarchical structure of matter studied by ab-initio calculations

第一原理計算による「力」の決定と階層を貫く普遍的物理の解明

C01

エフィモフ3量子体
質量比世界最大

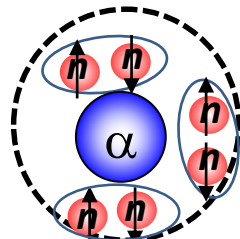


Naidon
金
肥山

B02

6中性子クラスター核

世界初の予言



延与
肥山

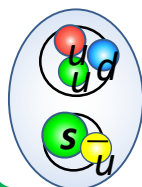
B01

A02

ハドロン分子
 $\Lambda(1405)$

世界初の観測予言

保坂、土井、肥山

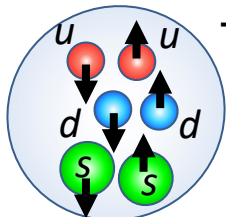


B01

6q系 = Hダイバリオン

世界初の予言

土井、保坂
肥山



A02

チャームバリオン
ダイクオーク探索

世界初の観測予言

保坂、土井、肥山

