

科目コード	D 0 4 3 7
講 座 名	元素誕生のからくり
定 員 数	2 4 名
担 当 者	本林 透（もとばやし とおる）
講義の目的および概要	
様々な元素に囲まれて我々は生活している。元素はいつ、どこで生まれたのだろうか。今も作られているのだろうか。実は、原子の中心にある小さいわりには重い原子核が、宇宙の大きなスケールの中で元素誕生に役割を果たしてきた。太陽などの恒星が輝く仕組み、星の一生、宇宙の進化にも関係する元素の合成と原子核について理解を深める。原子核のような微小な世界で働く一見不思議な仕組みについても紹介してゆく。キーワードは、宇宙の歴史、原子核、星の進化、超新星、核融合。 ※理化学研究所（和光市）の見学会や、適当なものがあれば講演会聴講を予定している。このような企画にも興味を持ち、積極的に参加する諸君の履修を前提としている。	

「元素誕生のからくり」

宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..
これが授業の主題

元素 --- 概念(種類－水素、鉄、ウラン...)
原子 --- 実体(個、“ウランの原子”)
原子核



爆発の時にこそ重たい元素が作られる

下の図のように星は寿命を迎えると爆発します。実はその爆発の時こそ鉄より重い元素は大量に出来ると思われています。RI ビームファクトリーはこの重い元素の作られ方の研究を最も得意としています。

7	Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
---	----	----	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

ニンゲンたちに必要な元素って意外と少ないんだね

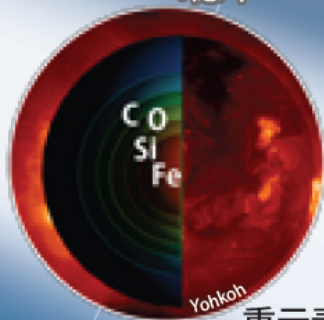


4億年



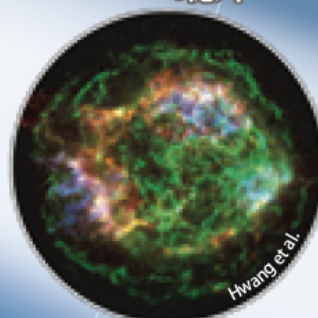
最初の
星の誕生

4億年～



重元素の
誕生

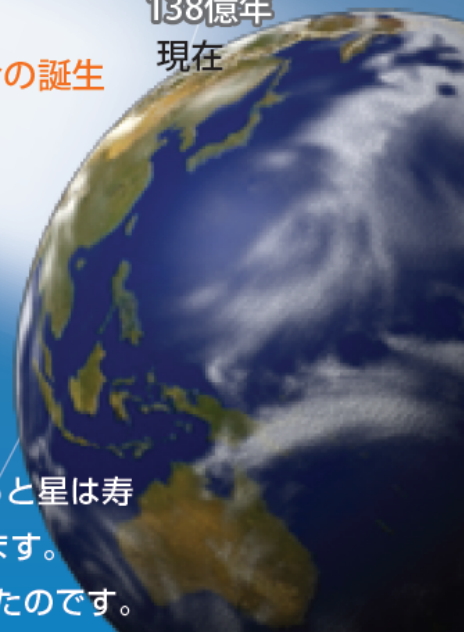
4億年～



超新星爆発と
元素の拡散

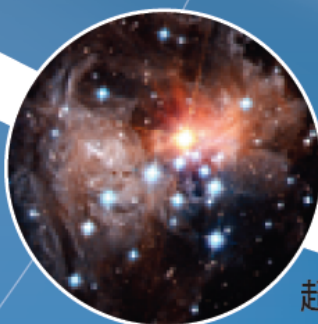
生命の誕生

138億年
現在



超新星残骸から
星間物質へ

次世代の
星の誕生



ただし星はいつまでも元素を作り続けることは出来ません。原料の水素が少なくなると星は寿命を迎えます。最後には爆発してそれまで作り上げた重い元素たちを宇宙にばらまきます。

私たちの太陽、そして地球はこのばらまかれた星の残骸（星くず）^{ざんがい}がまた集まってできたのです。

教 材

適宜プリント配布予定。授業で示すスライドはweb ページに掲載する。

試験および評価方法

前期と後期の期末試験と授業時に集めるレポート内容で評価する。

注意・禁止事項

授業中携帯電話は指示する場合以外OFF。不要な私語厳禁。

「元素誕生のからくり」

宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..

元素 --- 概念(種類－水素、鉄、ウラン...)

原子 --- 実体(個、“ウランの原子”)

原子核

<http://ribf.riken.jp/~motobaya/lectures/Niiza/index.html>

「元素誕生のからくり」

理研 RI ビームファクトリー

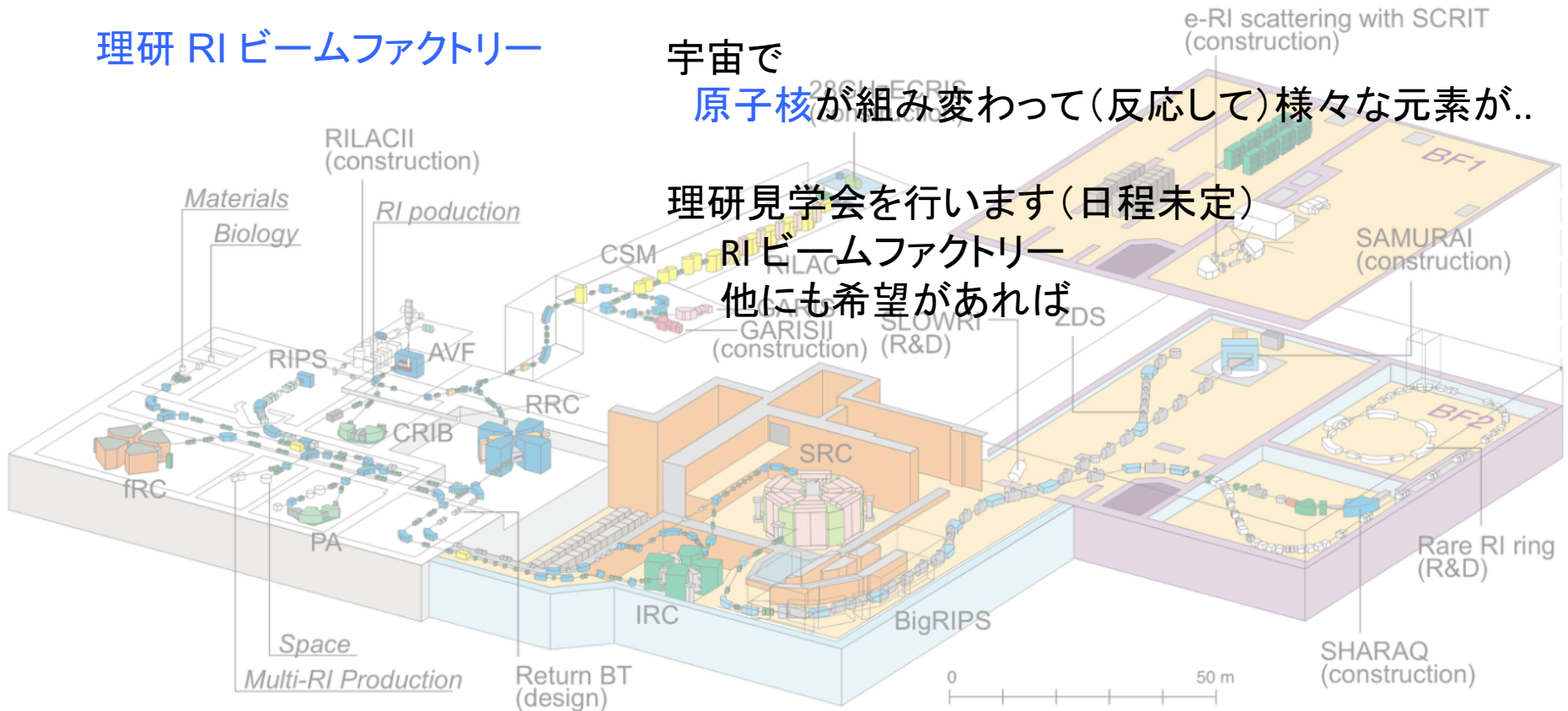
宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..

理研見学会を行います(日程未定)

RI ビームファクトリー

他にも希望があれば



F. Schümann¹, S. Typel², F. Hammache², K. Sümmerer², F. Uhlig³, I. Böttcher⁴, D. Cortina², A. Förster³, M. Gai⁵, H. Geissel², U. Greife⁶, N. Iwasa⁷, P. Koczon², B. Kohlmeier⁴, R. Kulesa⁸, H. Kumagai⁹, N. Kurz², M. Menzel⁴, T. Motobayashi^{9,10}, H. Oeschler³, A. Ozawa⁹, M. Płoskoń^{2,8}, W. Prokopowicz⁸, E. Schwab², P. Senger², F. Strieder¹, C. Sturm^{2,3}, Zhi-Yu Sun², G. Surówka^{2,8}, A. Wagner¹¹, and W. Walus⁸

¹*Institut für Physik mit Ionenstrahlen, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany*

²*Gesellschaft für Schwerionenforschung, D-64220 Darmstadt, Germany*

³*Technische Universität Darmstadt, D-64289 Darmstadt, Germany*

⁴*Phillips-Universität Marburg, D-35032 Marburg, Germany*

⁵*University of Connecticut, Groton, CT 06340, U.S.A.*

⁶*Department of Physics, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401, U.S.A.*

⁷*Tohoku University, Aoba, Sendai, Miyagi 980-08578, Japan*

⁸*Jagellonian University, PL-30-059 Kraków, Poland*

⁹*RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research), Wako, Saitama 351-0198, Japan*

¹⁰*Rikkyo University, Toshima, Tokyo 171, Japan and*

¹¹*Forschungszentrum Rossendorf, D-01314 Dresden, Germany*

(Dated: June 28, 2005)

An exclusive measurement of the Coulomb breakup of ^8B into $^7\text{Be}+p$ at 254 A MeV was used to infer the low-energy $^7\text{Be}(p,\gamma)$ cross section. The radioactive ^8B beam was produced by projectile fragmentation of 350 A MeV ^{12}C and separated with the fragment separator FRS at GSI in Darmstadt, Germany. The Coulomb-breakup products were momentum-analyzed in a 4π magnetic spectrometer; particular emphasis was placed on the angular correlations of the breakup particles. These correlations demonstrate clearly that E1 multipolarity dominates within the angular cuts selected for the analysis. The deduced astrophysical S_{17} factors exhibit good agreement with the most recent direct $^7\text{Be}(p,\gamma)^8\text{B}$ measurements. By using the energy dependence of S_{17} according to the recently refined cluster model for ^8B of Descouvemont, we extract a zero-energy S factor of $S_{17}(0) = 20.6 \pm 0.8(\text{stat}) \pm 1.2(\text{syst})$ eV b. These errors do not include the uncertainty of the theoretical model to extrapolate to zero relative energy, estimated to be about 5% by Descouvemont.

I. INTRODUCTION

The so-called “solar neutrino problem” has been solved by the results of the Sudbury Neutrino Observatory (SNO) [1, 2]. The SNO experiment has shown strong evidence that the neutrino-flux deficit measured in charged-current interactions is a result of neutrino flavor oscillations between electron-neutrino production in the Sun and their detection on Earth. The flux measured in neutral-current interactions of high-energy solar neutrinos is in general agreement with the flux predicted by the standard solar model (SSM, Refs. [3, 4]). The current slight discrepancy between the flux predicted by the SSM and the neutral-current flux measured by SNO [2] may be significant or not depending on the uncertainty of the flux prediction: a small but significant deficit could, e.g., be evidence for oscillations into sterile neutrinos. To that end it is essential to further reduce the uncertainty of nuclear inputs to the SSM in order to refine its predictions. One critical quantity is the $^7\text{Be}(p,\gamma)^8\text{B}$ cross section at solar energies since it is linearly related with the high-energy solar neutrino flux stemming from ^8B β -decay.

In recent years, many attempts have been undertaken to measure this cross section with high-precision in direct-proton capture measurements using radioactive ^7Be targets [5–8]. Unfortunately, these results do not

yield a completely consistent picture: The earlier measurements (Refs. [5, 6]) yield lower zero-energy astrophysical S factors, $S_{17}(0)$, around 19 eV b, whereas the two more recent ones (Refs. [7, 8]) obtain values that are about 15% higher. All these measurements were found to be consistent with an energy dependence of S_{17} as given by the cluster model of Descouvemont and Baye [9].

In view of their importance for astro- and elementary particle physics, it is desirable to cross-check these results by other, indirect measurements that have no systematic errors. One possibility is Coulomb dissociation (CD) of ^8B in the electromagnetic field of a high- Z nucleus. Such measurements have been performed at intermediate [10, 11] and high energies [12]. The present paper reports on a CD experiment similar to that of Ref. [12], but with an improved experimental technique. Preliminary results of this study have been published earlier [13].

Another indirect method to deduce $S_{17}(0)$ is to determine the Asymptotic Normalization Coefficient (ANC) of the proton wave function bound in the ^7Be potential. This method makes use of the fact that due to the very low proton binding energy radiative proton capture is extremely peripheral and $S_{17}(0)$ can be calculated directly from the ANC. The ANC can be determined from low-energy proton-transfer or from proton-removal

「元素誕生のからくり」

宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..

理研見学会を行います(日程未定)

論文(とは何だろう)の話もするかな。

その1

科学者の世界での論文の役割

論文はだれに向けて書くもの？

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} u(x) + V(x)u(x) = Eu(x)$$

● 中性子
● 陽子

「元素誕生のからくり」

宇宙で

原子核が組み変わって(反応して)様々な元素が..

理研見学会を行います(日程未定)

論文(とは何だろう)の話もするかな。

物理学の基本にも触れます。

量子とは? 不確定性... パウリ原理
パリティってワカン

トピックス – ニホニウム(113番元素)、重力波

え!? まだ見つかってない
元素ってあったの?

2017

立教新座

2004 年
2005 年

自発核分裂

アルファ崩壊

アルファ崩壊

アルファ崩壊

2012 年

254Md

262Lr

中性子を放出して冷却

70Zn

核反応

209Bi

279Nh
励起状態
(高温の複合核)

278Nh
基底状態
(目的核種)

271Fr

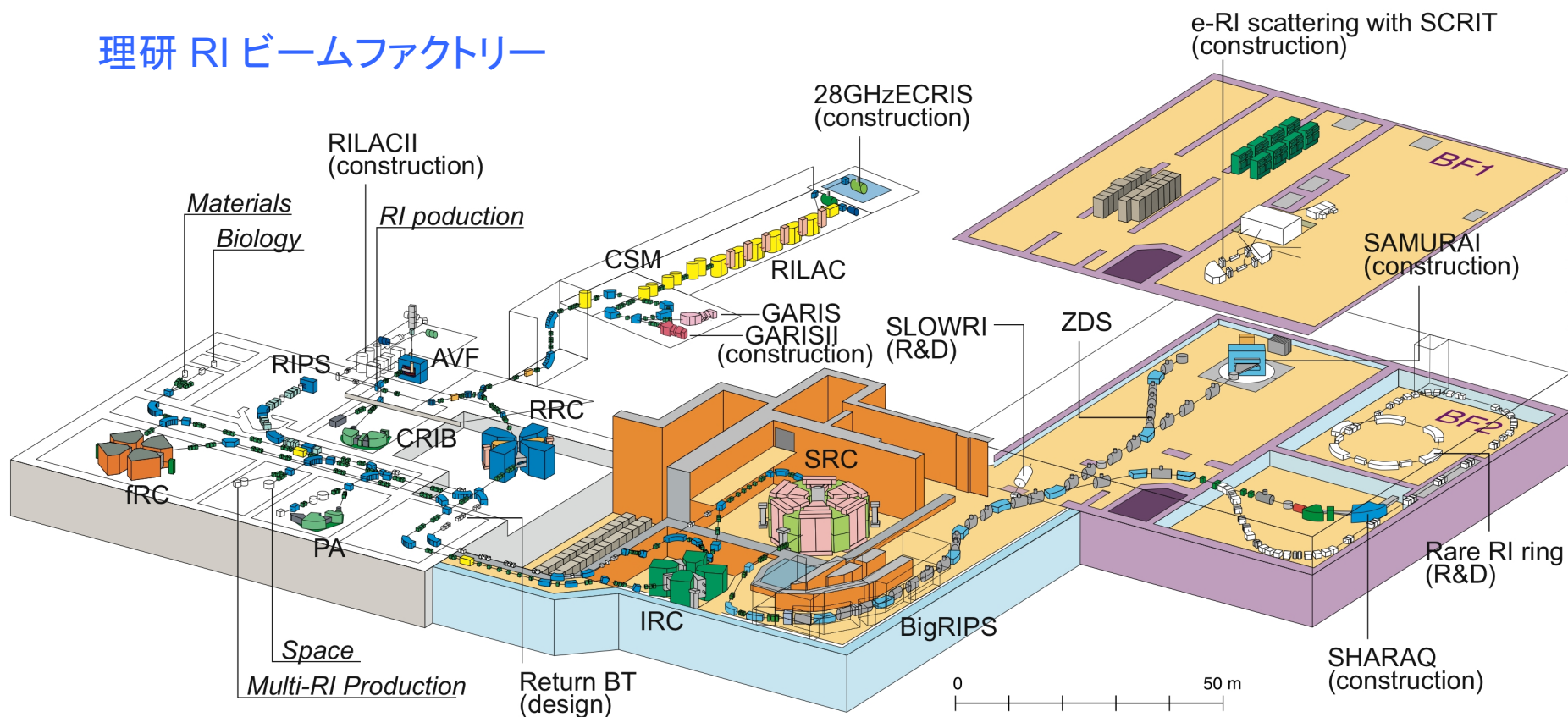
270Mt

268Bh

262Tl

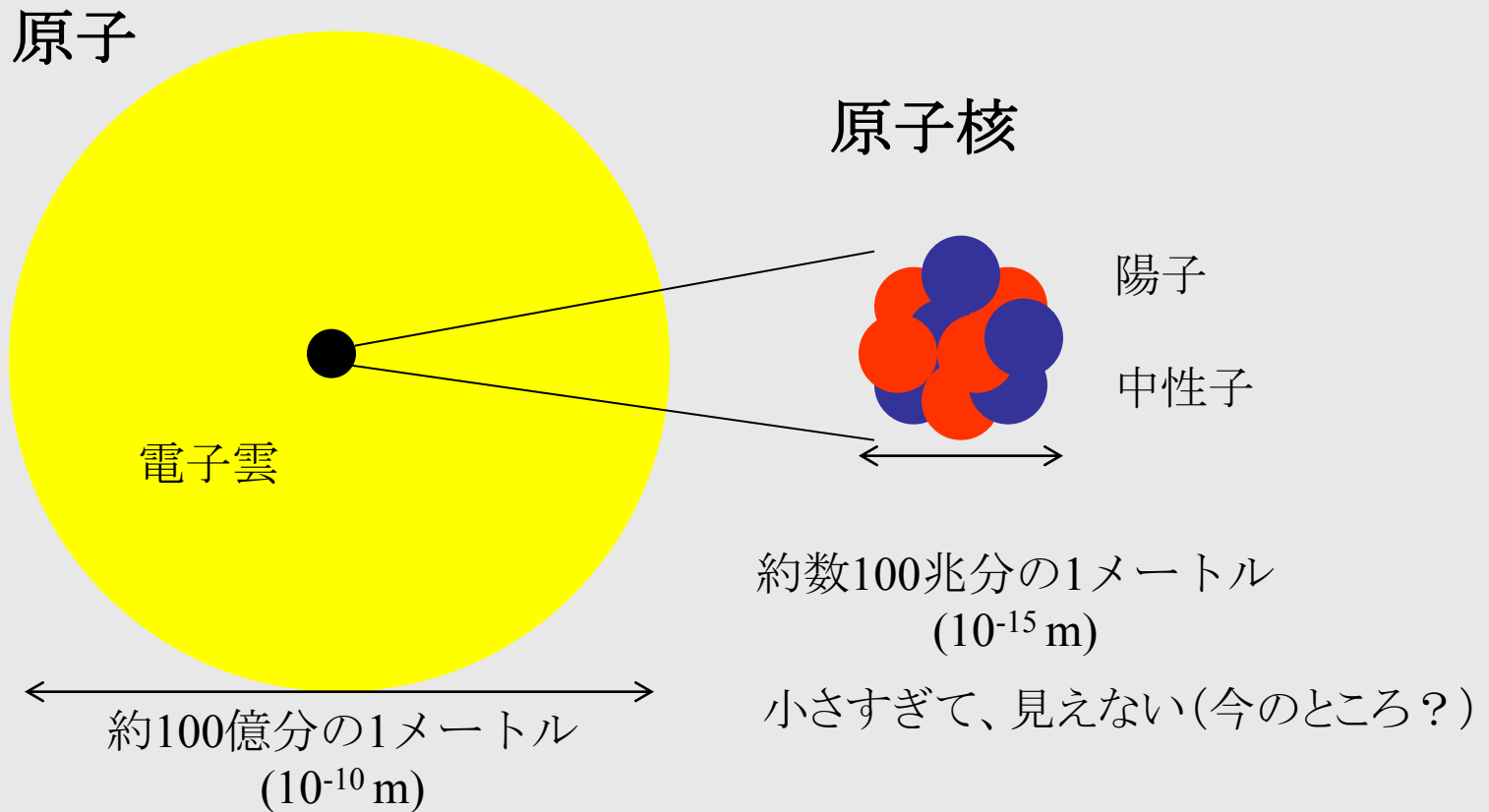
まずは原子核 次は宇宙

理研 RI ビームファクトリー



原子核は

えらい！



陽子、中性子の重さ: 電子の重さの約 2000 倍 !
原子の重さ ~ 原子核の重さ

物質の重さ ~ 原子核の重さ

世界は原子核でできている ! ?

原子核は

えらい！

ものの重さはほとんど原子核の重さ
原子の性質は原子核中の陽子の数による

