

“物理学家与物理学史”春季研讨会：学派与传承
2024年5月20-21日、CCAST

How did Neutrino Astronomy begin at Kamiokande?

— Synergy between 小柴学派 and 有馬学派 —
Particle Physics Nuclear Physics

梶野敏貴

北京航空航天大学/東京大学/日本国天文台



Who am I, 梶野敏貴 KAJINO Toshitaka ?

1979 东京大学 物理学, 学士
导师 - 小柴昌俊
Prof. Masatoshji Koshiba

1984 东京大学 理论物理学, 博士
导师 - 右馬朗人
Prof. Akito Arima

1984 至 1993 东京都立大学 助教授

1993 至 2021 国家天文台 教授

1994 至 2021 东京大学 教授

2004 美国物理学会 院士

2016 中国千人计划 (高端) 外国专家

2017 至今 北京航空航天大学 大学特聘教授
桓武科教術中心 首席科学家
大爆炸裂宙論学与元素起源国际
交叉科学研究中心 所長



My dream, to become a calligrapher in China!

At my age 9, I received Gold Metal “田中角栄 Award” in a New Year’s calligraphy competition in Kashiwazaki City, the home town of former Prime Minister 田中角栄.



塔は基から「組」む。
梶野敏貴書

「不動心」
田中角栄書

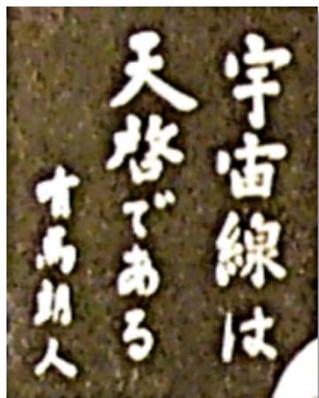
1972年9月, 中日两国恢复外交关系。



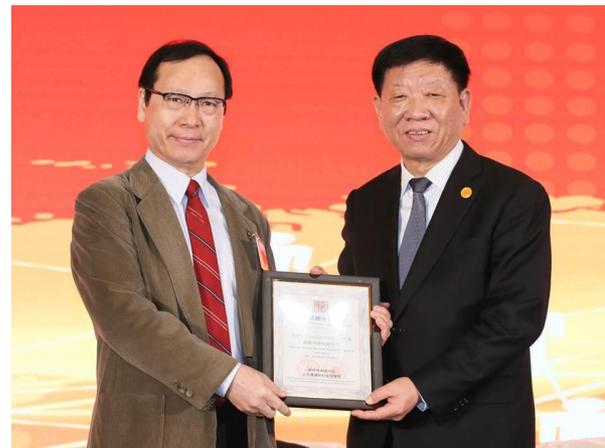
日本首相
田中角栄

中国首相
周恩来

1983年7月, 神冈中微子 观测站 Kamiokande 建立。



2016年, 中国千人计划 (高端)外国专家。



Dawn of “宇宙物理学”

Guys ...

Astronomy & Nuclear Physics

宇宙物理学

Do the opposite of what others do!
Keep your pockets full of dreams and
be prepared. (You've got to hit one,
like gambling !)

宇宙核物理学

GW

Gravity



Kip Thorne

Strong Nuclear Force



Willy D. Fowler



Akito Arima

Weak Force



Masatoshi Koshiba

Electromagnetism



George F. Smoot

Taka ...

Astrophysics & cosmology is the
field of imagination. Be brave to put
your idea to discuss together
with all of us !

天文学 (帰納的)

現象の背後に存在する原理を見い出す。

Kajino kun ...

Don't follow the fashion!
Open up your own new field! The world
is your partner, help each other.
(Firmly establish the basis.)

物理学 (演繹的)

基本原理から現象を導きだす。



Highest symmetry
Unified forces

Symmetry breaking

Structure forms

Beginning of time

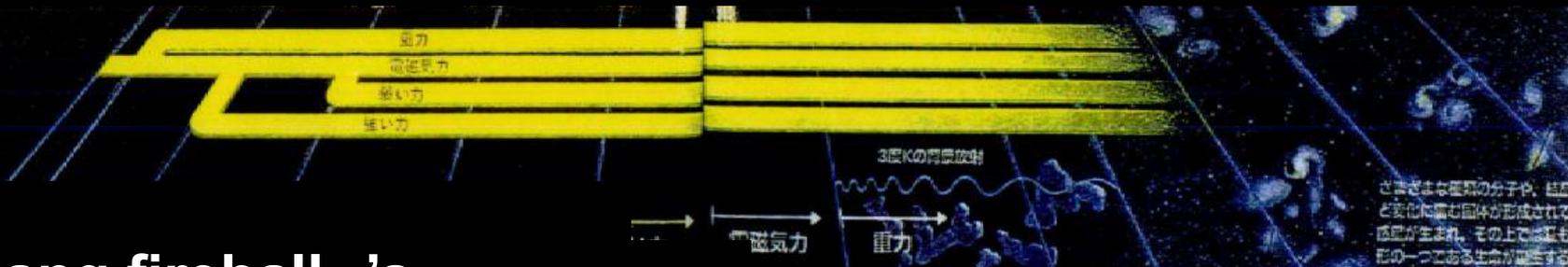
→ Cosmic evolution

→ Present

Time



力が低下する過程で、は
が最終的には四つに分離
がっていきとそれぞれ
て効力をあらわしはじめ、
がつけられていった。



さまざまな種類の分子や、結晶
と変化に富む固体が形成されてい
て、生命が生まれ、その上でさまざまな
形の一つである生命が誕生する。

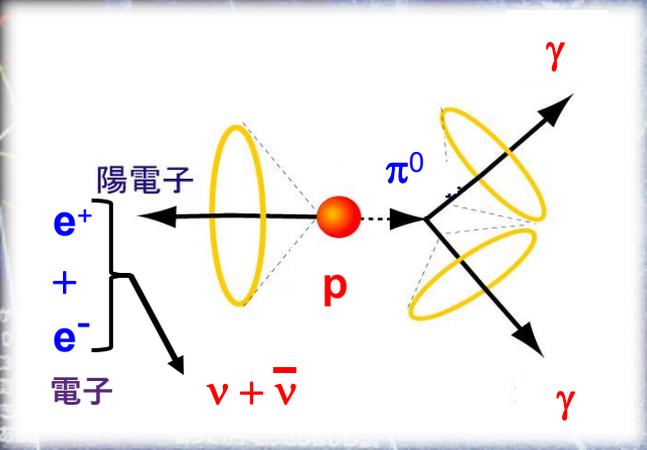
Big-Bang fireball γ 's
 $2\gamma \rightarrow$ matter + anti-matter

CP violation

Matter > anti-Matter

GUTs predict "Proton decay"
in the future:

$$\tau > 5.9 \times 10^{33} \text{ ys (90\% C.L.) !}$$



最初の物質が生まれる。
レプトン

強い力、電磁気力が分かれ、ここで四つの力がそ
ろろ。だが高温のため、
力はまだ形をつくる効果
をあらわさない。

中性子
電子
ヘリウム原子核

強い力で陽子と中性子
が結合して重水素の原
子核。さらにヘリウム
の原子核ができる。

水素とヘリウム原子核に電
子が結合し、原子という新
しい形ができる。このとき
から宇宙は透明になり、光
は伝達しはじめる。ここ
から発せられた3000
~4000度Kの光は、現在
度Kの宇宙放射として観測
できる。重力がはたらき
はじめるのもこのころで

10万年 1B-100年 10B-150

1970-1990 年 东京大学理学院物理系

基本粒子理论 Elementary Particle Theory



西島和彦
Kazuhiko Nishijima



宮沢弘成
Hironari Miyazawa



山口嘉男
Yoshio Yamaguchi

量子统计物理
Quantum Statistical Physics



久保亮五
Ryogo Kubo

CRITICISM

Koshiaba school is always full of big words and no substance !
他们总是大话连篇，没有实质内容！

核理論 Nuclear Theory



有馬朗人
Akito Arima

They always go to
opposite, but will
open up frontiers !

他们总是走向对立面，
但也会开辟前沿！

高能物理实验 High Energy Physics – Exp.



小柴昌俊
Masatoshi Koshiaba



戸塚洋二
Totsuka Yoji



梶田隆章
Takaaki Kajita

小柴昌俊 KOSHIBA, Masatoshi

1926, 9.19 Born in Aichi, Japan

1951 东京大学 物理学, 学士

1953 东京大学 理论物理学, 硕士学位
→ 美国罗切斯特大学研究生留学

1955 美国罗切斯特大学 实验物理学, 博士学位 (高能宇宙射线物理学)

1955-1958 美国芝加哥大学 研究员

1958



お宮参り



勿



慶子夫人

深

;

Continuous academic communication, support, synergy (& friendship) crossing over the schools lead to the success!



1963



有馬朗人 ARIMA, Akito

1930, 9.

Born in Osaka, Japan

1953

东京大学 物理学, 学士

1956

1959

1958

1959

东京大学 讲师

1964

东京大学 教授

1971

美国纽约州立大学 教授

Continuous academic communication,
support, synergy (& friendship) crossing
over the schools lead to the success!



Bonner Award 1993

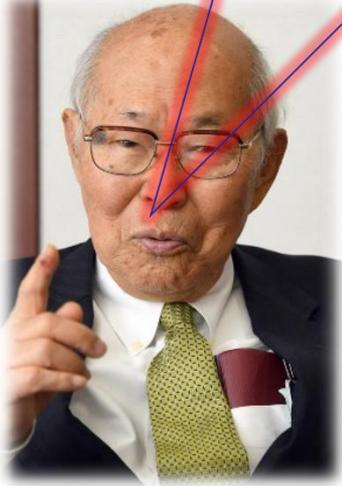


Support each other crossing over the schools !

Once credit & friendship are made, keep synergy forever !

Japanese nuclear physicist, former
Education Minister, Akito Arima died
at 90 on Dec. 6, 2020.
Keep challenging, internationally!
Open up new frontier science!
Help each other!

Japanese particle physicist, Nobel Prize
winner Masatoshi Koshiha, died
at 94 on Nov. 12, 2020.
**Have lots of tremendous
dreams! Never give up until
they come true!**



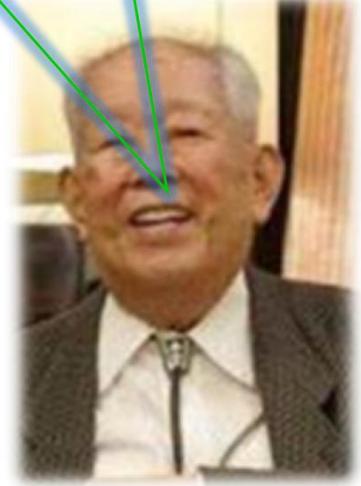
President of
University of Tokyo
Akito Arima

Kajino's mentor
in the PhD.



Two giants established a new frontier of
"Neutrino Astronomy"
on the synergy of particle & nuclear physics
since 1983, then success came with SN1987A !

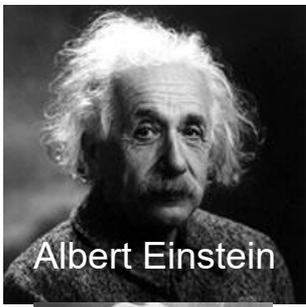
→ My PhD thesis on solar neutrinos in 1983, and since then ...



Prof. Masatoshi Koshiha

Kajino's supervisor
in the undergraduate.

宇宙学和粒子核天体物理学系谱

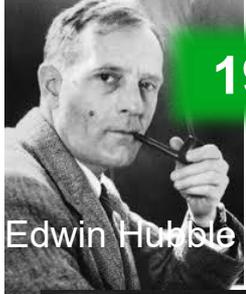


Albert Einstein



Marie Curie

1965



Edwin Hubble

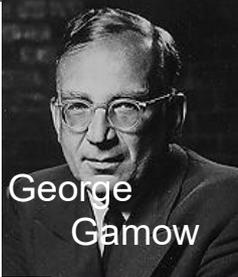
1949



Hidetaki Yukawa



Shinichiro Tomonaga



George Gamow



Ts

ノーベル賞 4人受賞

2008

自由な雰囲気、息の長い研究大事に

下村純一さん
梶川龍一さん
梶川龍一さん
小林誠さん



Yoichiro Nambu



Masatoshi Koshiro



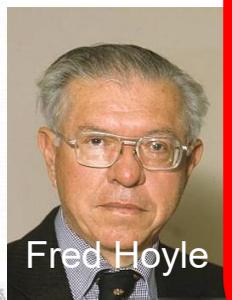
Aki Kikawa



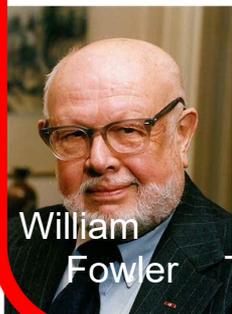
George Smoot



Brian



Fred Hoyle



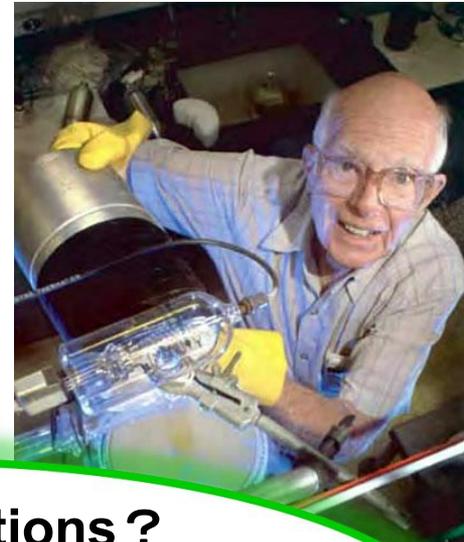
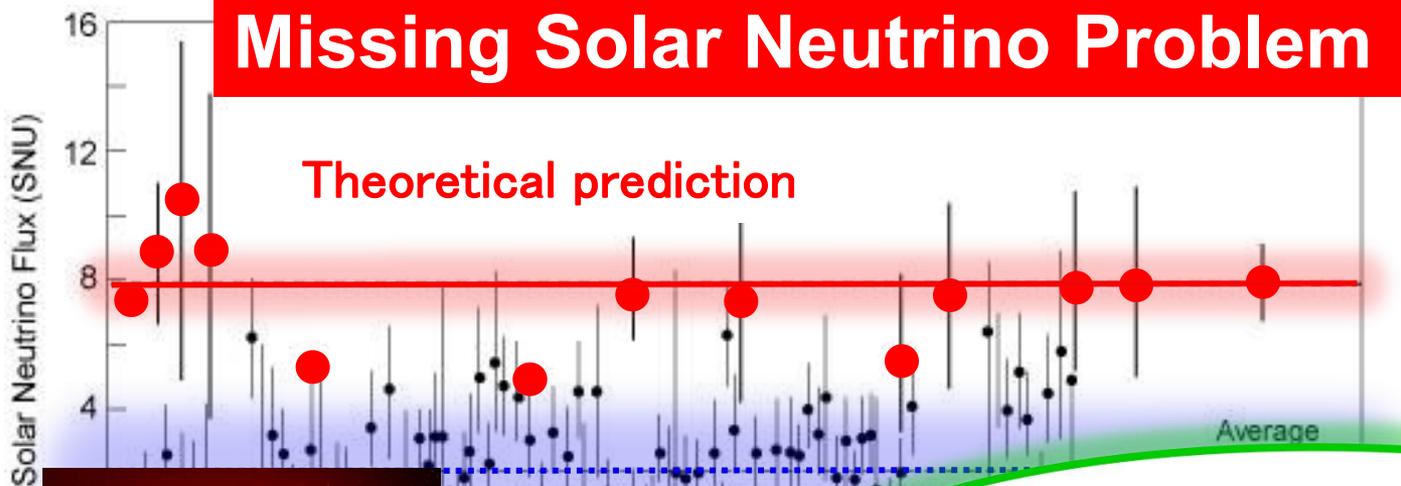
William Fowler



Toshitaka Kajino

* COSNAP
COSmology & Nuclear As

Missing Solar Neutrino Problem



Possible Solutions?

T. Kajino (1983—1990)

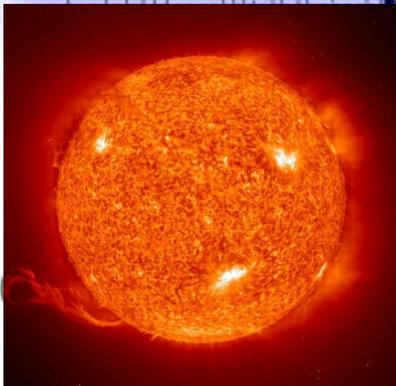
J. Bahcall (1988—)

T. Kajita (1998)
 ν -mass & oscillation

~~Neutrino Production Rates~~
~~Solar Models~~

Unknown Neutrino Nature?

Nobel Prize in Physics (1983)



梶田氏 ノーベル賞

物理学賞 ニュートリノ質量発見

宇宙の謎解明に期待

スーパーカミオカンデで観測

スーパカミオカンデで観測

ニュートリノ振動

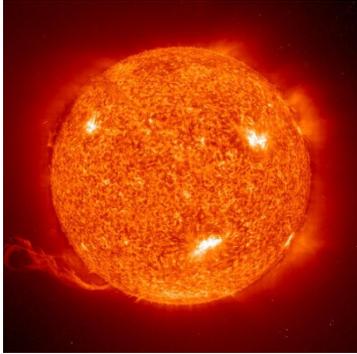
電子ニュートリノとミューオンニュートリノの振動が観測された。これはニュートリノが質量を持つことを示している。

梶田隆章 (かじた たかあき) 1959年生まれ。埼玉県熊谷市出身。和歌山大学理学部物理学科、和歌山大学大学院で、小林正典・梶本雅夫教授(2002年—)の指導で物理学専攻(2003年)に入る。梶本大学院研究助教などを務め、05年同研究科付属宇宙ニュートリノ観測実験センター主任、同研究科教授、07年同科長に就任。08年同研究科長を兼ね、日本学士院院士にも受賞。理学博士。



S-factor (keV b)

Solar Fusion



Today

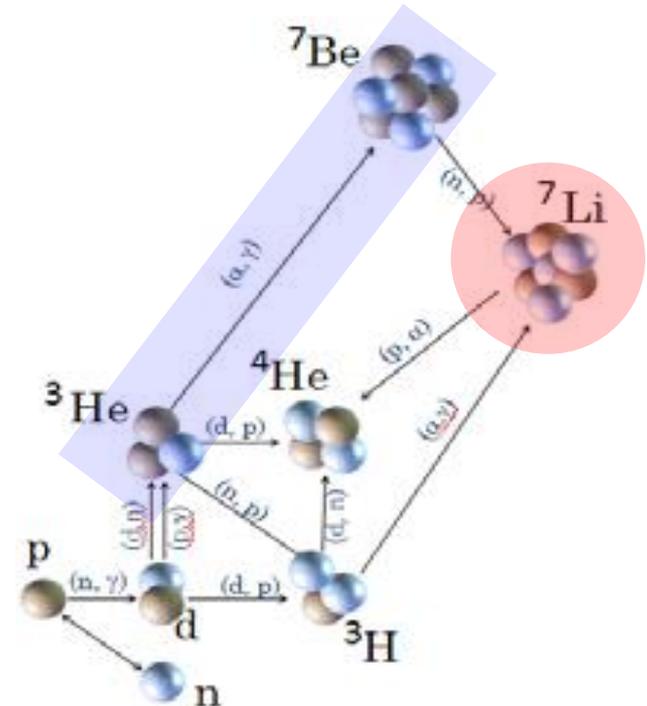
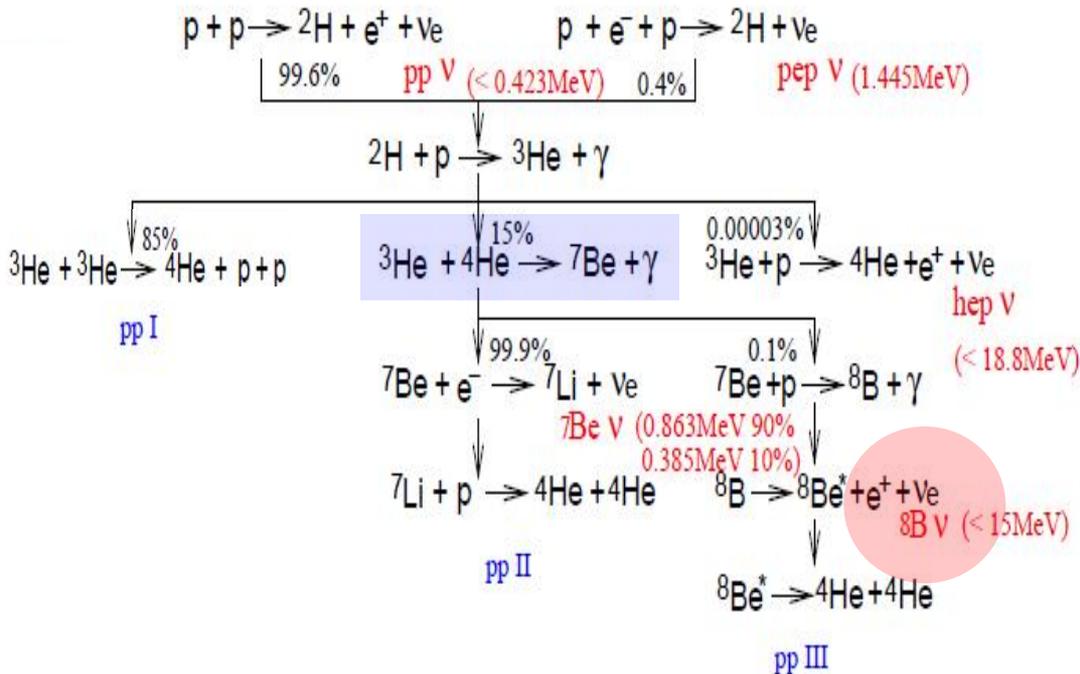
Big-Bang Nucleosynthesis



First 3 min

W. Fowler predicted. (1958)
R. Davis detected. (1969—)

G. Gamow predicted (1948)
Spite & Spite observed. ('1980—)



What is 宇宙核物理学?

Origin of Space-Time (Universe) ... (E=mc²)

**Big-Bang
Nucleosynthesis**

Dark Age

Galaxies

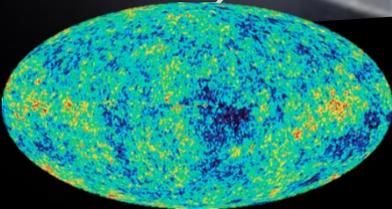
Cosm



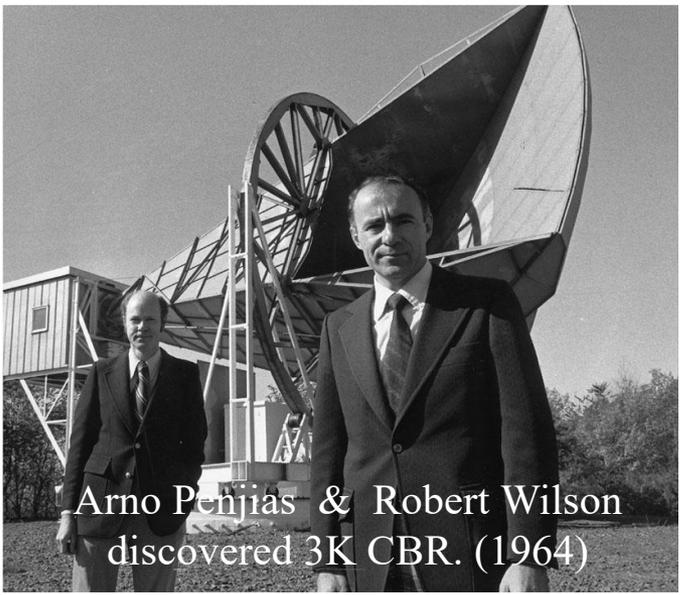
George Gamow
predicted BB model.
(1948)



Sir Fred Hoyle
proposed Steady-State
model. (1948)

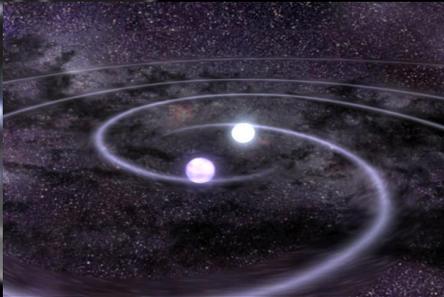


CMB Fluctuation
3.8x10⁵ y



Arno Penzias & Robert Wilson
discovered 3K CBR. (1964)

Stellar Evolution



by BH/Neutron-Star Merger



$^9\text{Be}/\text{H}$

Big-Bang Nucleosynthesis Model



Kajino's Inhomogeneous

Model, Kajino & Boyd,
ApJ 359 (1989, 1990) 267.

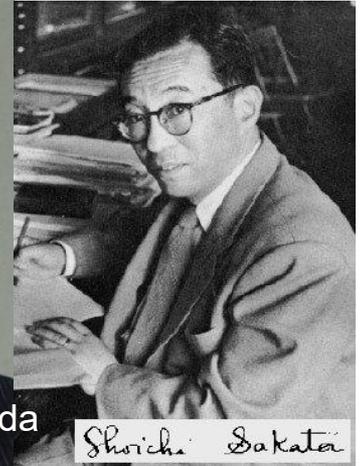


Hiroshi Itoyama

Yoihiro Nambu



Anthony Ichiro Sanda



Shiroichi Sakata



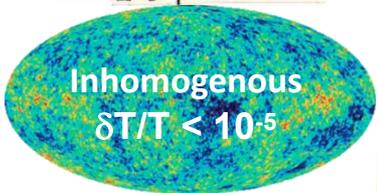
Ganjizhao

NAOJ China



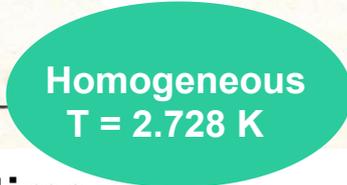
G. Fuller
(1994-1998)
UNIC California
NAOJ Japan

$\times 10^4$



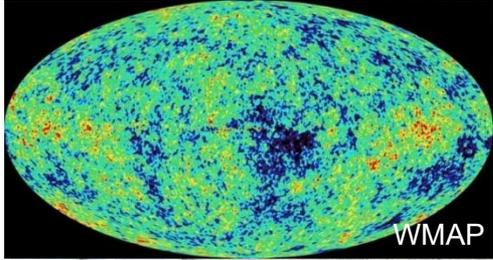
Lamost-Subaru Collaboration
Aoki, Zhao, Shi et al. (2013-2023)

Gamow's Big-Bang Model
Alpher, Bethe & Gamow, PR 73
(1948), 803.



Early Universe (old stars) $\xrightarrow{\text{time}}$ (young stars)

International Conference on "Origin of Elements in the Universe" Blois Castle, France (2007)

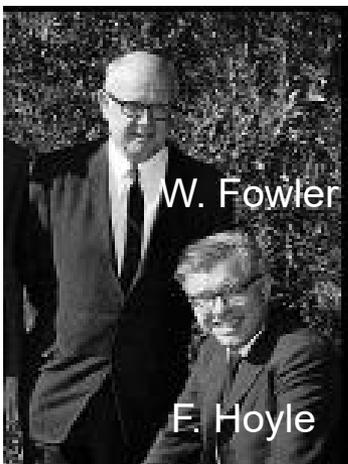


2016年、中国·世界千人学者就任式

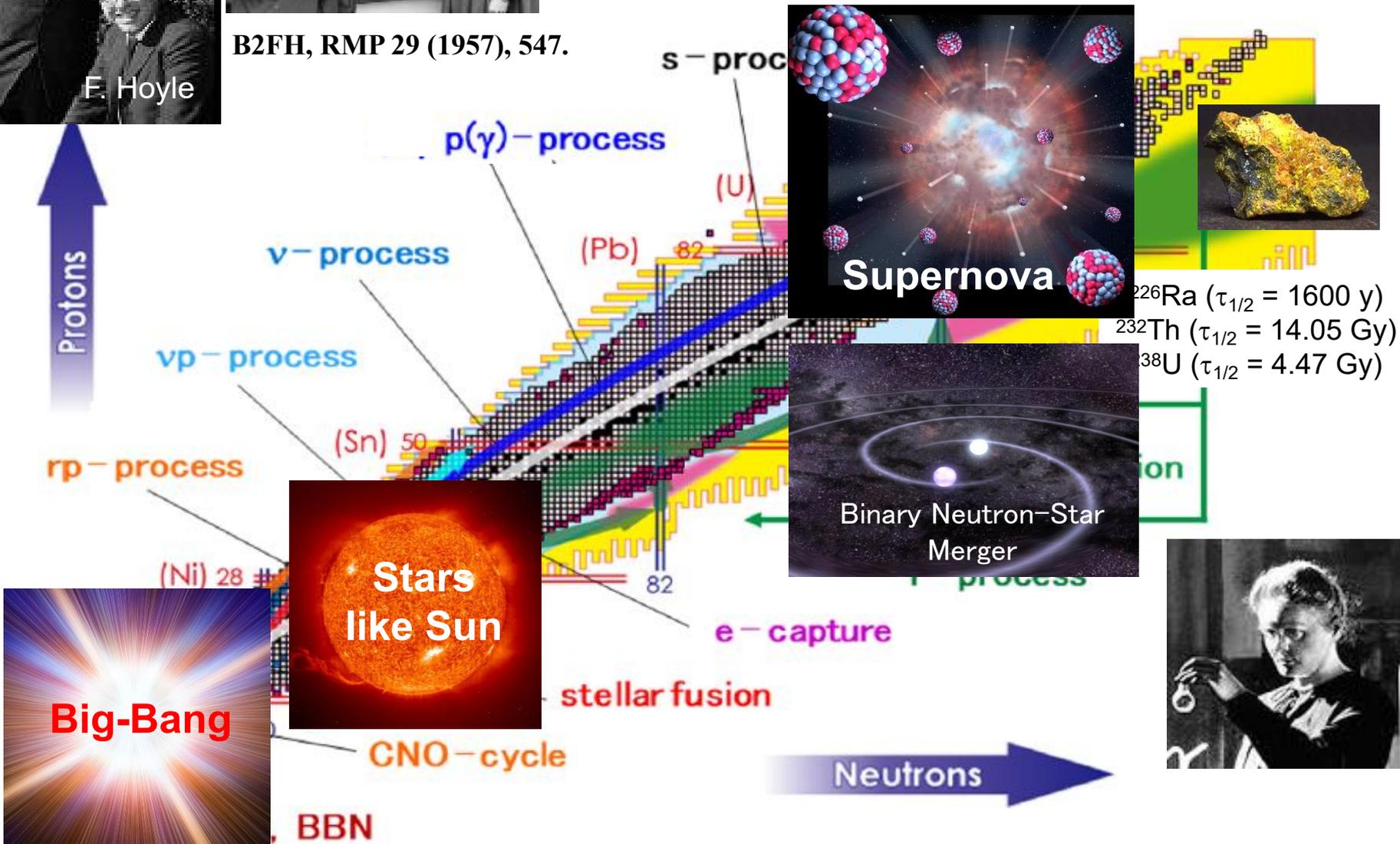
貴
ing
neous
smology
(39)

Origin of Atomic Nuclei in Stars

B2FH, Rev. Mod. Phys. 29 (1957), 547.



B2FH, RMP 29 (1957), 547.



東洋の天文学と超新星 SN1054

西暦185年、中国の東漢の時代、当時の中国の天文学者が超新星の爆発プロセスを観察して「客星」として記録に残した。後の「後漢書」には次のような記載がある。「十月癸亥、一つの客星が南門に出現、笠のように大きく色鮮やかで、その後徐々に衰え、翌年六月にはなくなった。」当時の中国の天文学者たちは夜空に鮮やかな「新星」を発見、翌年の6月にかけて徐々に消えたその星は8カ月近く空に輝いていたことになる。1960年代に科学者達の研究により、この記載は人類の歴史上最も早い超新星の爆発記と確認された。

オランダ・ユトレクト大学のJacco Vink氏が中心となり日本の理化学研究所の研究者などが参加したチームの観測によって、RCW 86はやはり185年に観測された超新星の残骸である、という強い証拠が得られた。チームは2つのX線観測衛星、ESAのXMM-NewtonとNASAのチャンドラでRCW 86を改めて観測し、その年齢が正しくは2000歳であると結論づけたのである。

K. Nomoto et al., Nature 299 (1982), 803.

野本憲一

The Crab Nebula's progenitor

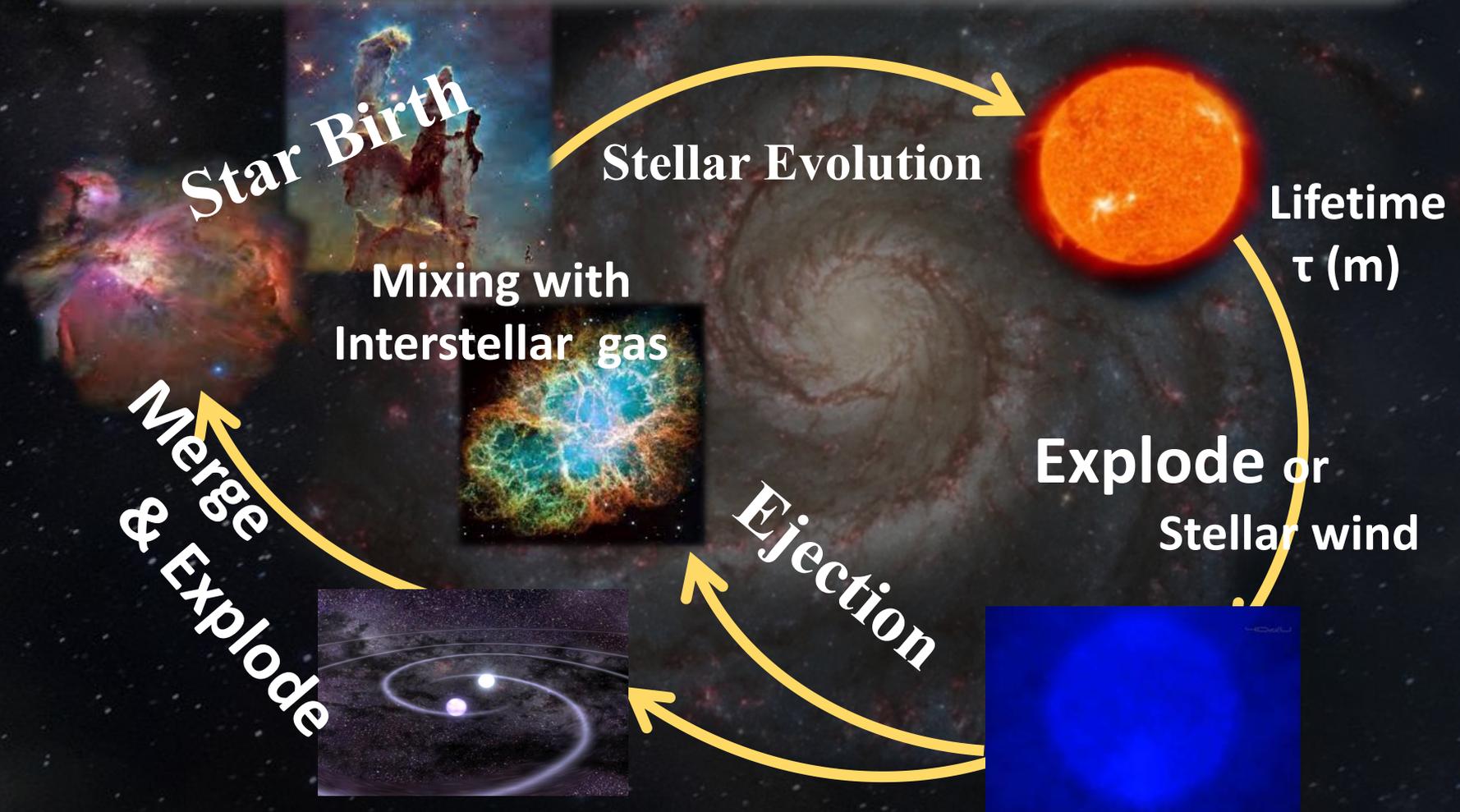
Ken'ichi Nomoto*, Warren M. Sparks†, Robert A. Fesen‡, Theodore R. Gull‡, S. Miyajiri & D. Sugimoto*

little or no swept-up interstellar material. In fact, several studies¹⁻⁴ have suggested an initial mass of $\sim 10 M_{\odot}$ for the Crab progenitor. Recently, Davidson *et al.*⁵, quoting two of us (K.N. and W.M.S.), state that the Crab's progenitor had a mass slightly larger than $8 M_{\odot}$. Here we present in detail the reasoning behind this statement and suggest the explosion mechanism.



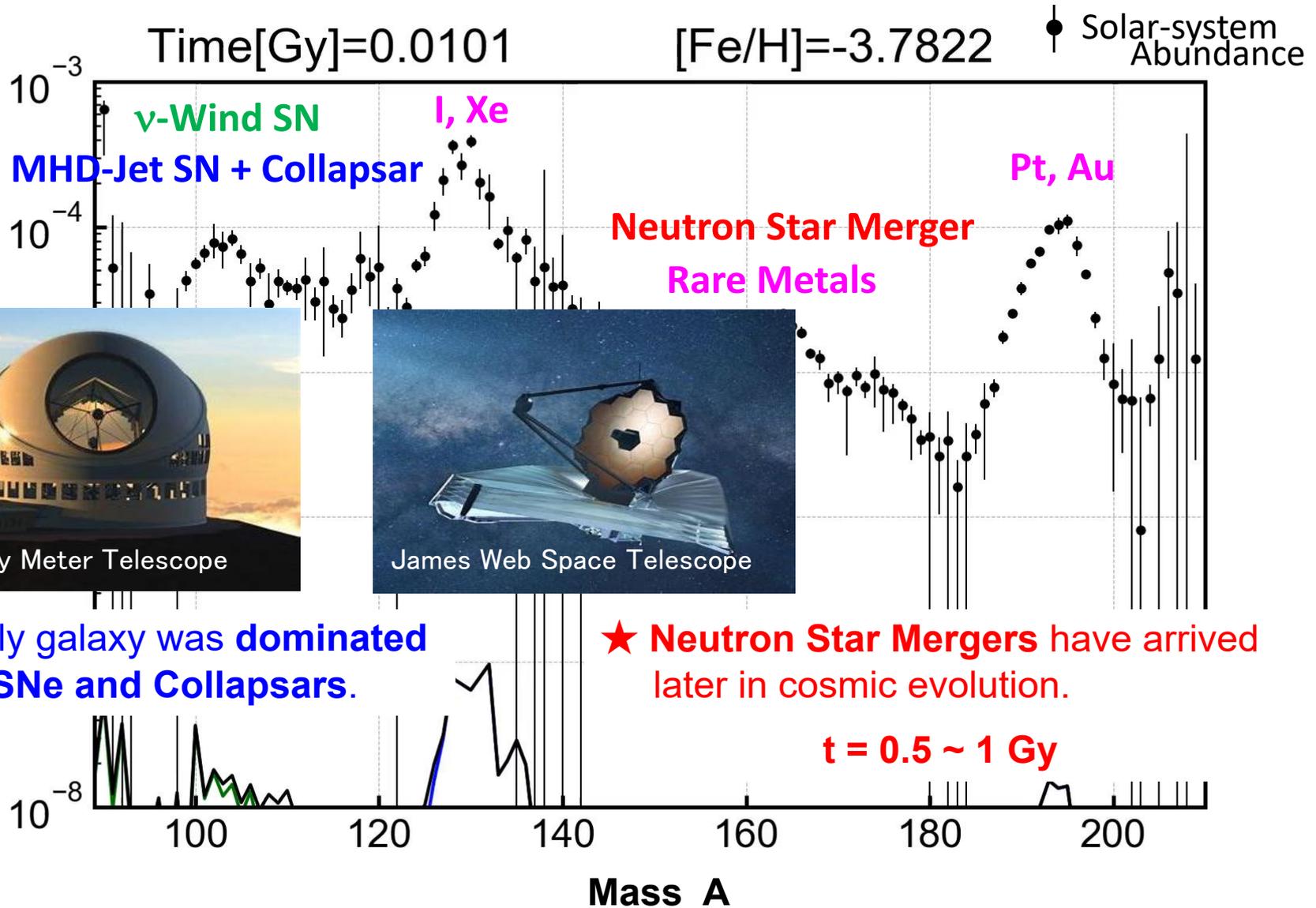
Cosmic & Galactic Evolution Model

- Big-Bang → 1st stars form in the galaxies
- SNe explode and stellar winds eject elements and heat
- next generations of stars form ...



Cosmic & Galactic Chemical Evolution

Kajino, et al., *Astrophys. J.* 933 (2022), 112; *Astrophys. J. Lett* 966 (2024), L37;
Phys. Lett. B 851 (2024), 138581.



Astrophysical Candidates for R-Process

BINARY Stars

Neutron Star Merger



Time Delay : $100 \text{ My} < \tau < 10 \text{ Ty}$

Lorimer, Living Rev. Rel. 11(2008), 8.
Beniamini+ (2019), Timmes+ (1995)

Failed SN \rightarrow Collapsar

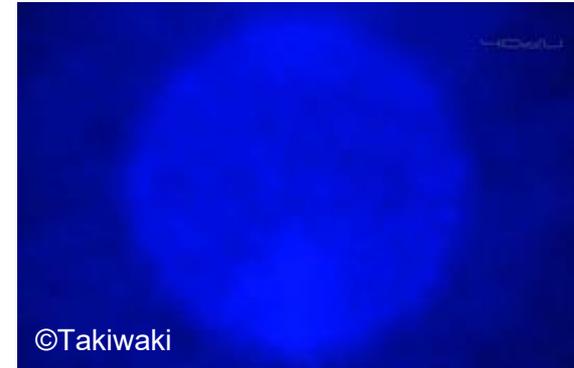
MacFadyen, Woosley, ApJ 524 (1999), 262;
Nakamura, Kajino, Mathews, Sato & Harikae,
A&Ap 582 (2015), A34; Yamazaki, et al. (2022).

Super-Luminous SN/Hypernova

Siegel, Barnes & Metzger, Nature 569 (2019), 243.

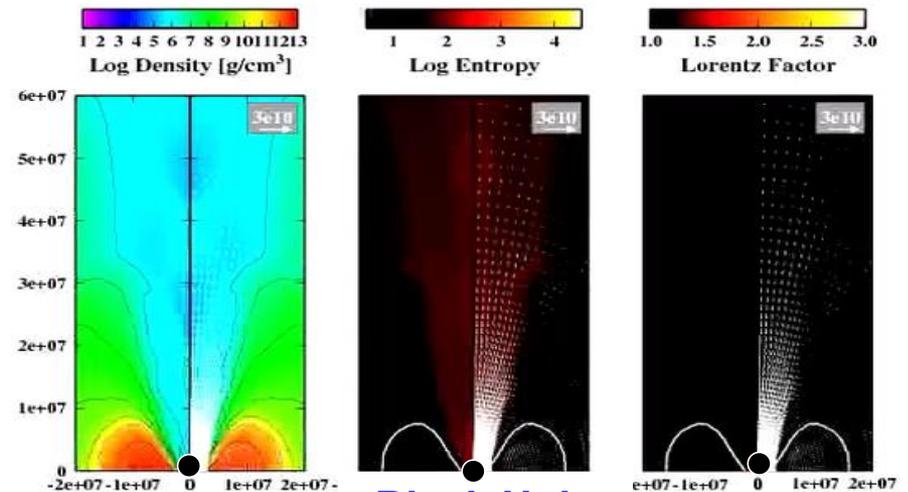
SINGLE Star

CCSN II : ν -DW & MHD Jet



Neutron
Star

Collapsar Jet

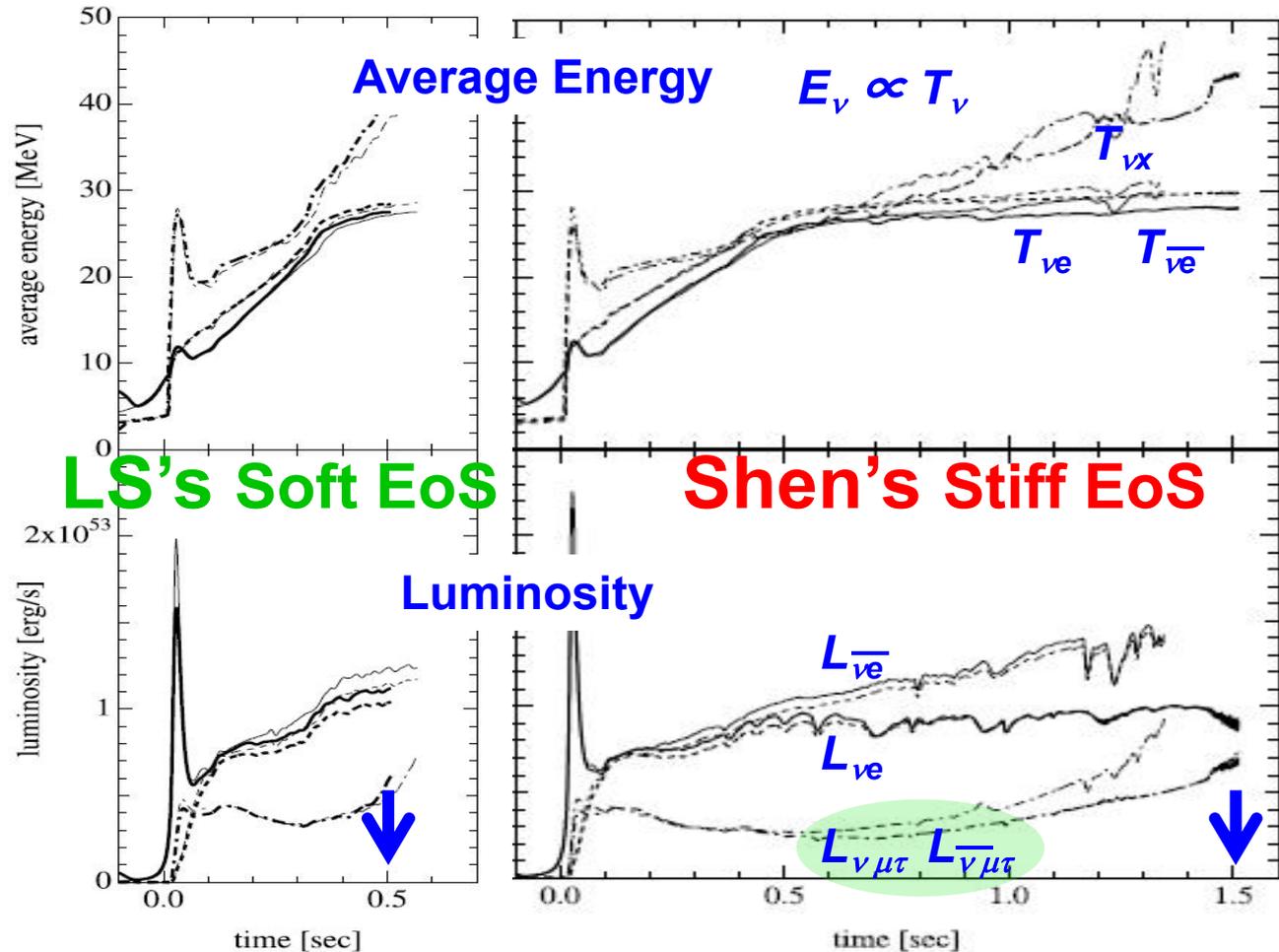
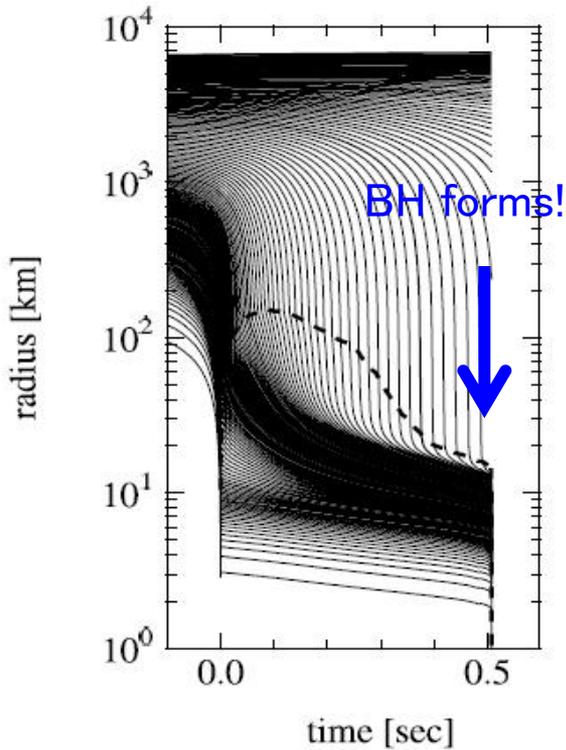


Black Hole

Neutrino Signal from Collapsars

Sumiyoshi, Yamada,
& Suzuki
ApJ **688** (2008)1176.

Model	Progenitor ^a	M_{prog} (M_{\odot})	M_{Fe} (M_{\odot})	EOS	M_b^{max} (M_{\odot})	M_g^{max} (M_{\odot})	t_{BH} (s)
W40S.....	WW95	40	1.98	Shen	2.66	2.38	1.35
W40L.....	WW95	40	1.98	LS	2.10	1.99	0.57
T50S.....	TUN07	50	1.88	Shen	2.65	2.33	1.51
T50L.....	TUN07	50	1.88	LS	2.11	2.01	0.51
H40L.....	H95	40	1.88	LS	2.17	2.08	0.36

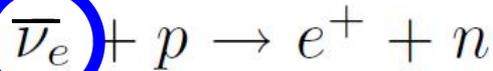


Galactic Diffuse(BG)SN- ν Spectrum

+ Collective Oscillation

- **JUNO: 20 kilo-ton Water Cherenkov Detector**

- **Hyper-K: 188 kilo-ton Gd-loaded Water Cherenkov Detector**



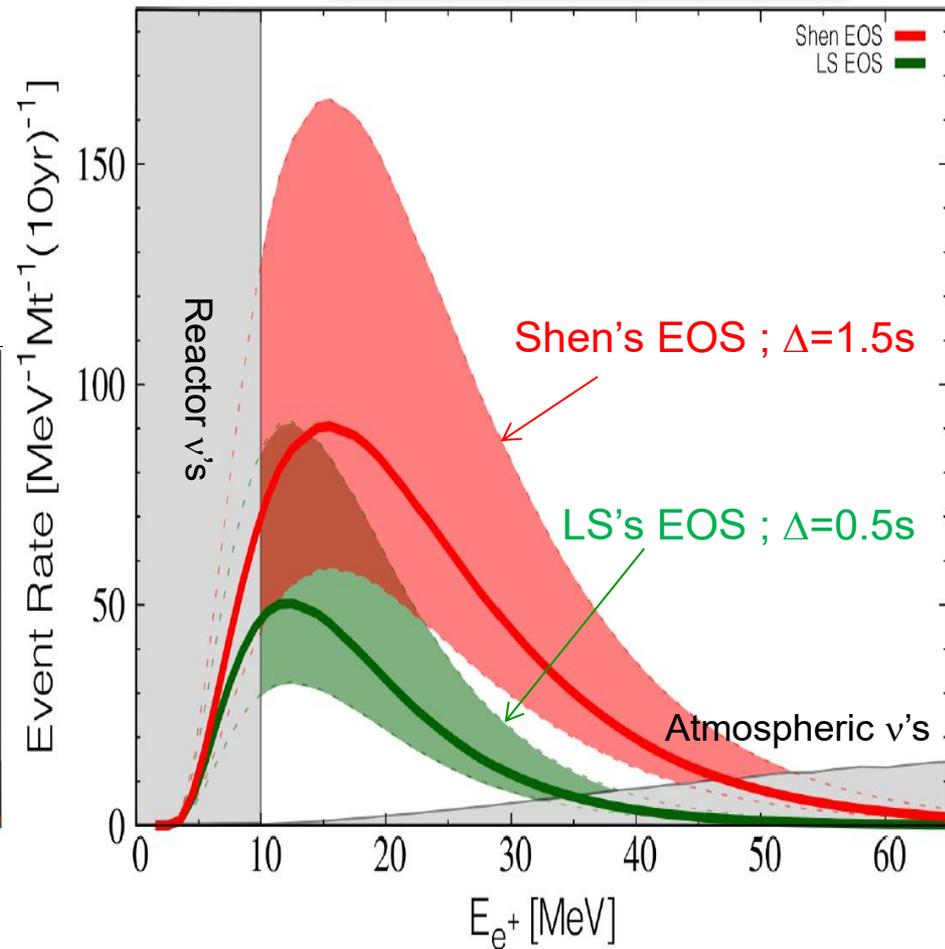
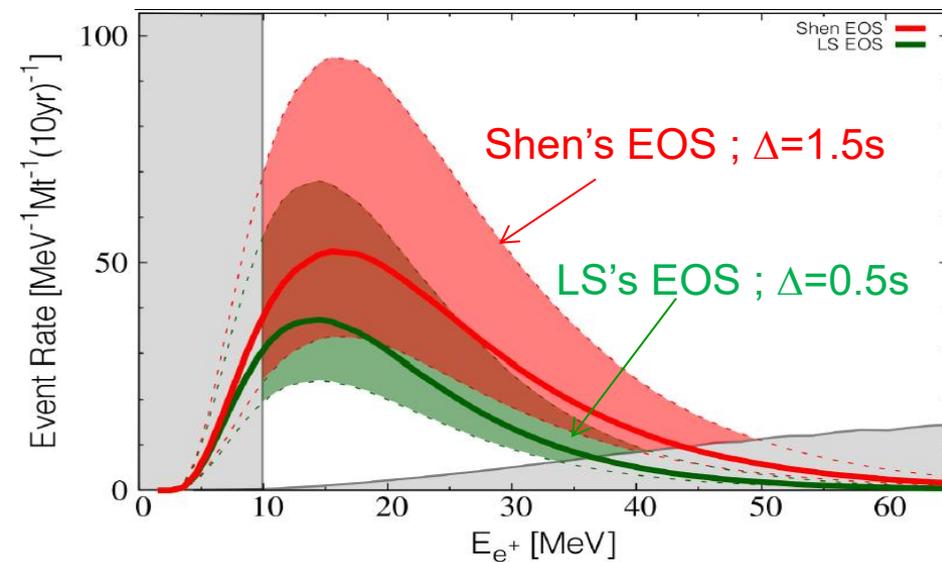
Relic SN Neutrinos probe EOS and Mass Hierarchy !

Inverted Hierarchy - HK

MSW-HD Res. ; $L_{\nu e} = L_{\bar{\nu} e} \gg L_{\nu \mu, \tau}$

Hidaka, Kajino & Mathews, ApJ 869 (2018), 31, 11pp; ApJ 790 (2014), 115.

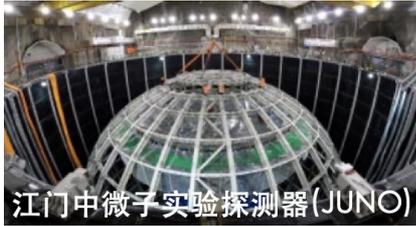
Normal Hierarchy - HK



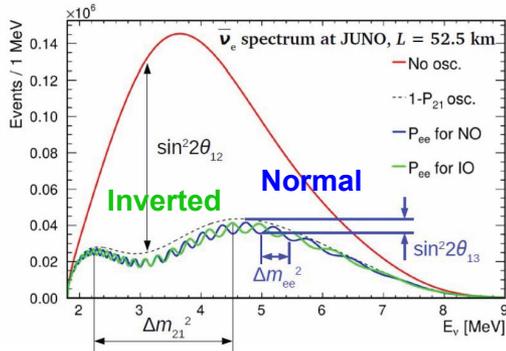
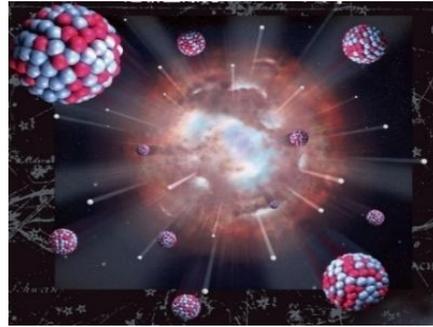
元素的起源与超越标准模型的新物理：中微子质量是关键

Origin of Heavy Elements & New Physics beyond the Standard Model: Neutrino mass takes the key.

Vacuum



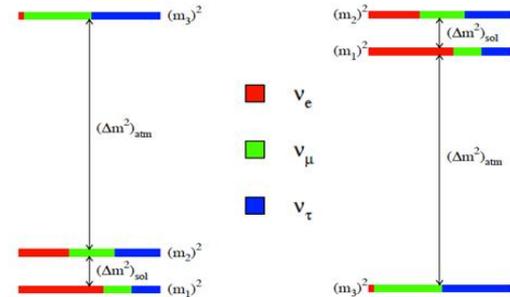
High density



Hierarchy, still unknown !

Normal

Inverted



$$\Delta m_{12}^2 = 7.9 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

$$|\Delta m_{23}^2| = 2.4 \times 10^{-3} = (0.05 \text{ eV})^2$$

- **JUNO**将确定在**真空条件**下的中微子质量排序
JUNO will determine the neutrino mass hierarchy **in vacuum**.

- **超新星中的中微子核合成**可研究**高密度环境**中的中微子振荡，为中微子质量排序提供新的约束

Supernova neutrino nucleosynthesis offers another opportunity to study the neutrino mass hierarchy **in a high density environment**.



Akito Arima

Japanese Nuclear
Physicist (Theory)

President of University
of Tokyo until 1993

Minister of Education
until 1999

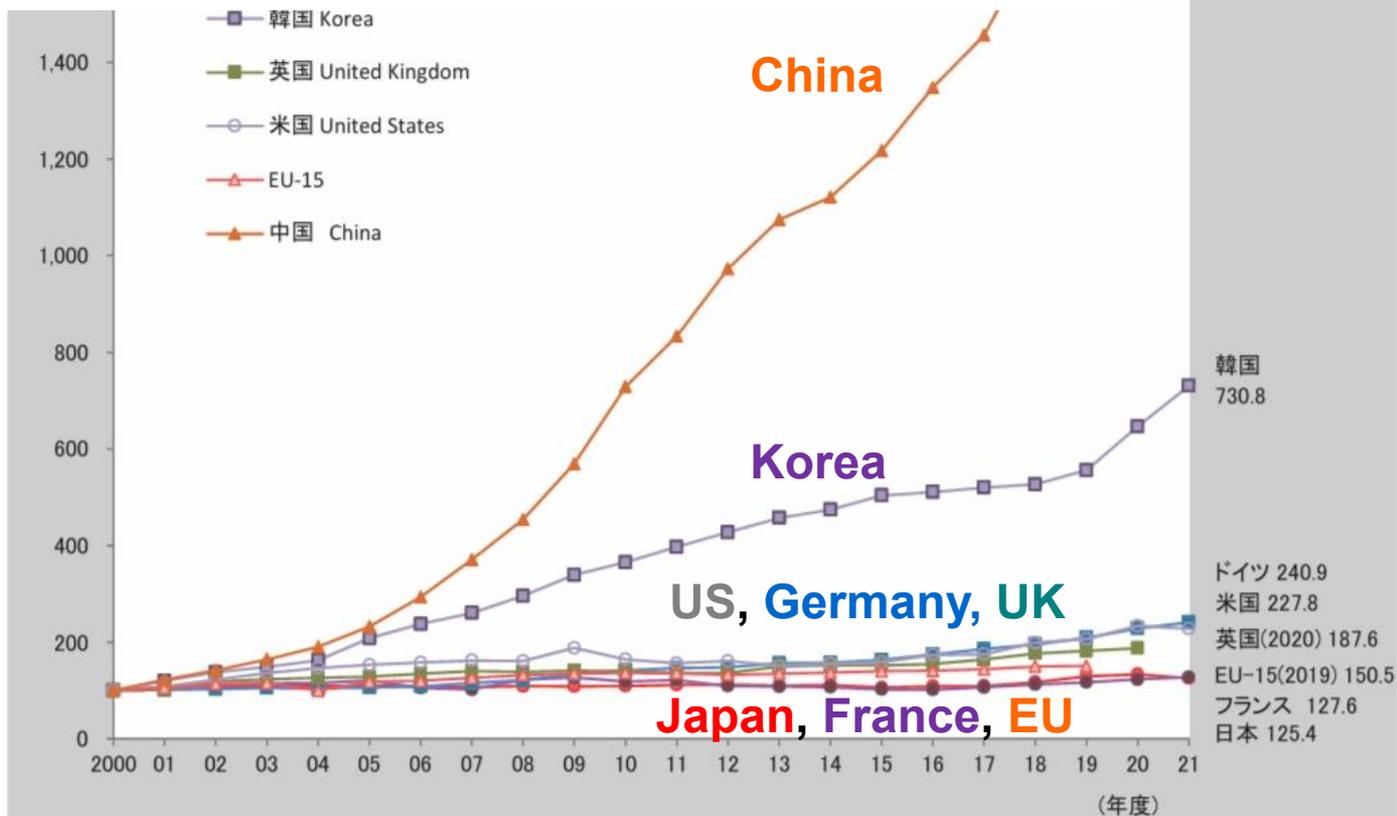
Index
(%)

主要国等の科学技術関係予算の推移

Trends in S&T budget in selected countries

(指数)

“I predict that Chinese and Korean Science will lead the world in the this century.”



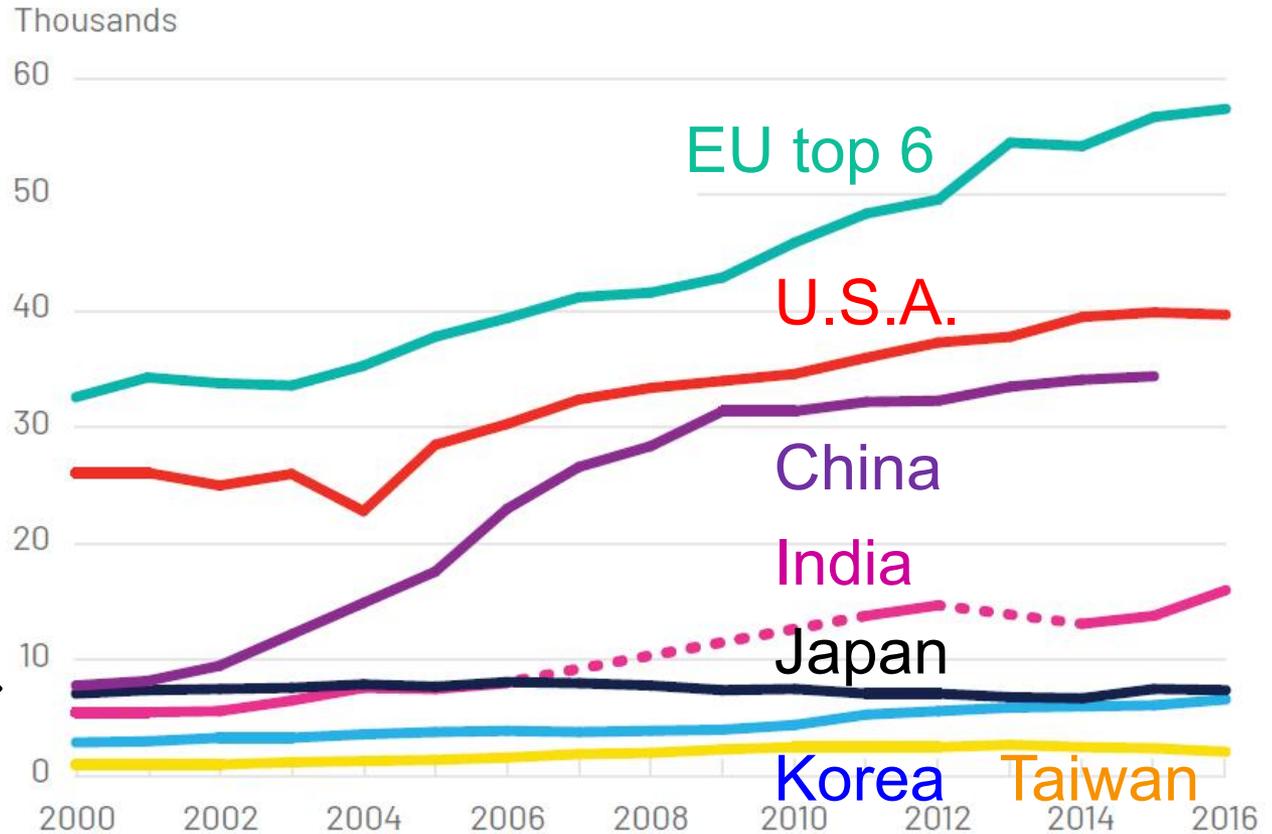
博士取得者数(科学技術分野)の国際比較

2020 NATIONAL SCIENCE BOARD
SCIENCE & ENGINEERING INDICATORS
The State of U.S. Science
& Engineering



日本 →

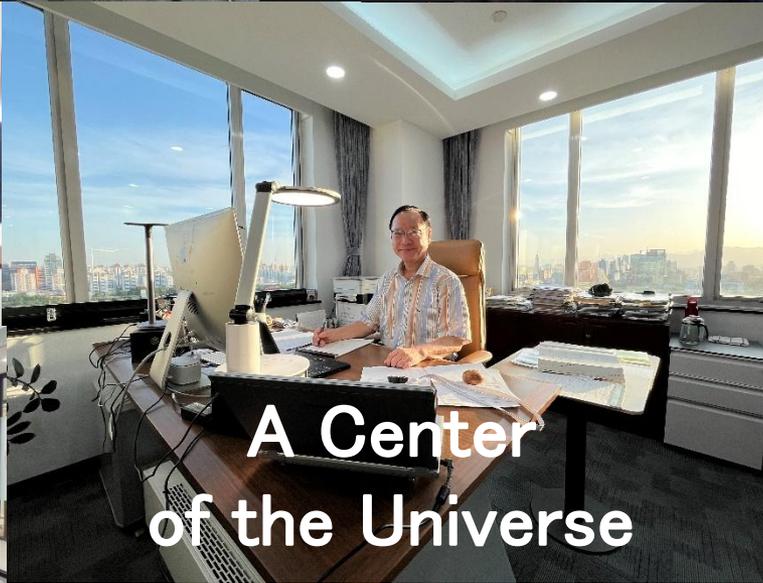
Figure 4. Doctoral degrees in S&E, by selected region, country, or economy: 2000-16



NOTES: EU top 6 is France, Germany, Italy, Sweden, Spain, and the United Kingdom. Data are not available for all regions, countries, or economies for all years. See p. 22.

SOURCES: Educational statistics of OECD, Eurostat, MEXT (Japan), NBS (China), and MOE (Taiwan).

Indicators 2020: Higher Education



Great discoveries dwell in
prepared minds.
Scientists have a homeland, but
science has no borders.

Dr. Louis Pasteur,
Founder of
modern bacteriology



Basic science is of no
immediate use. Be prepared.
For the welfare of mankind
some day...

Dr. Masatoshi Koshiba, Nobel Prize in Physics 2002

Dawn of “宇宙物理学”

Guys ...

Astronomy & Nuclear Physics

宇宙物理学

Do the opposite of what others do!
Keep your pockets full of dreams and
be prepared. (You've got to hit one,
like gambling !)

GW

V

Opt.-IR-X-γ

Gravity

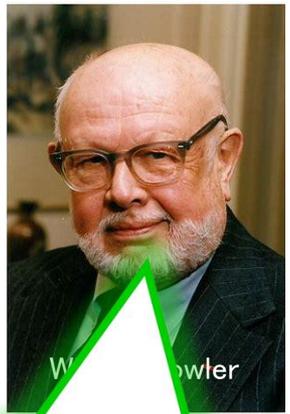
Strong Nuclear Force

Weak Force

Electromagnetism



Kip Thorne



William Fowler



Akito Arima



Masatoshi Koshiba



George Smoot

Taka ...

Astrophysics & cosmology is the
field of imagination. Be brave to put
your idea to discuss together
with all of us !

Kajino kun ...

Don't follow the fashion!
Open up your own new field! **The world
is your partner, help each other.**
(Firmly establish the basis.)

天文学 (帰納的)

物理学 (演繹的)

現象の背後に存在する原理を見い出す。

基本原理から現象を導きだす。



*Seek for truth, work hard, and
help people!*

William A. Fowler



William A. Fowler

**Nobel Prize in Physics in 1983
for establishing Nuclear Astrophysics**