

我が研究者人生、ピンチこそチャンス = 核融合、宇宙、学術 =

高部英明

[LeCosPA](#), National Taiwan University

【核融合科学研究所(NIFS)のユニット構築セミナー(2021年 6月16日(水)13:15 - 14:30)、
オンライン講演のために用意】



Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

國立臺灣大學

亞次宇宙學與粒子天文物理學中心



L

E

C

O

S

P

A

THE DARK AGES

Cosmic Inflation

Dark Matter

Dark Energy

Black Holes

Cosmic Neutrinos

Gamma Ray
Bursts

Laser Cosmology



Hideaki Takabe

6月8日 22:42 · 🌐

台湾はステージ3が5/15-6/27まで。大学はオンラインで人通りがない。入構も2か所の正門のみ、関係者のみ。



Hideaki Takabe

16時間前 · 🌐



今日は端午の節句。ですが、3時からZOOMオンライン講演のため大学へ。通勤の道脇に生える3つの果物の写真を撮りました。沢山のマンゴー、バナナ、パパイヤです。マンゴーはもうすぐ赤くなるはず。



おことわり

- **【吉田所長から依頼、5/23メール】** ところで6月のいつか、NIFSで始める「ユニットセミナー」で話をしていただけませんか？「集中から展開へ」をスローガンにして、10年後に学术界で輝くような「ユニットテーマ」をみんなで考えだして、それを旗印に掲げた「ユニット」(概ね10人くらいの研究チーム)を構築しようとしています。
- **【私の判断】** 抽象論より具体的な例を示したい。一番詳しいのは自分が歩いてきた道。そこで、表題をすぐ決めた。先週から用意を始め、まずは概要を書いた。年表も入れた。記事を3点お送りしました。かなり、激しい表現もあると思います。文責はすべて高部にあります。吉田所長は上のように依頼してきただけです。ご了解ください。

はじめに：科学者として人間として

- 正直こそ最善の策。(Honesty is the best policy)
- 正直は国際人間関係の構築に必須。
- 透明性なくして科学の進歩はない。
- 真実に迫れ。真実は矛盾する複数の事実よりなる。
- 研究は未来志向。学術的議論を優先せよ。
- 考える時間を確保せよ。議論せよ、論理的、正直に。
- 「去り際の美学」を常に意識せよ。未練は持つな。

ピンチとチャンス＝身近な例＝

私が住む高槻阿武山2番街、166世帯の自治会長に
(1994-1995, 41-42歳)

- それまで優秀な秘書が私の手書きをタイプ
- 自治会長になり、毎回の開催案内を自分でタイプ
- タイプに慣れた、お陰で、論文も旅行記も自分でタイプ

1971: 大阪大学・工学部・電気工学科入学
1972: 大学バリケード封鎖(1/9-9/1)。自宅待機の日々 ピンチ？
1973: 第1次石油危機(第4次中東戦争)
1974: 山中研究室(レーザー核融合)
1977: 理論修行、名大物理・プラズマ研へ(1年半) ピンチ1
1979: 第2次石油危機(イラン・イラク戦争)
1980: 西ドイツ・マックスプランク・プラズマ物理研究所・ポスドク、 ピンチ2
1981: 米国アリゾナ大学・ポスドク(Takabe formula)、 ピンチ3

最初のピンチ2-3は、ポスドクとしてミュンヘンとアリゾナにいた2年間(1980-1982)の経験です。私のボスが半年後に大学に栄転しました。私は一人となり、実験解析を依頼されました。しかし、理論の修行をもう少ししたい。英語の訓練もしたい。そこで、レーザー核融合研究の中心、米国に移る行動を起こしました。

1年後にはアリゾナ大学へ。そこでも最初は大変なピンチ。しかし、ボスに相談し課題を変え、院生との共同研究で成果を上げる。また、週3回の「英作文」の授業を半年受けました。「目から鱗」の成果あり。(記事あり)

ドイツ、米国での研究修行(27-28歳)



Peter Mulser



Dick Morse



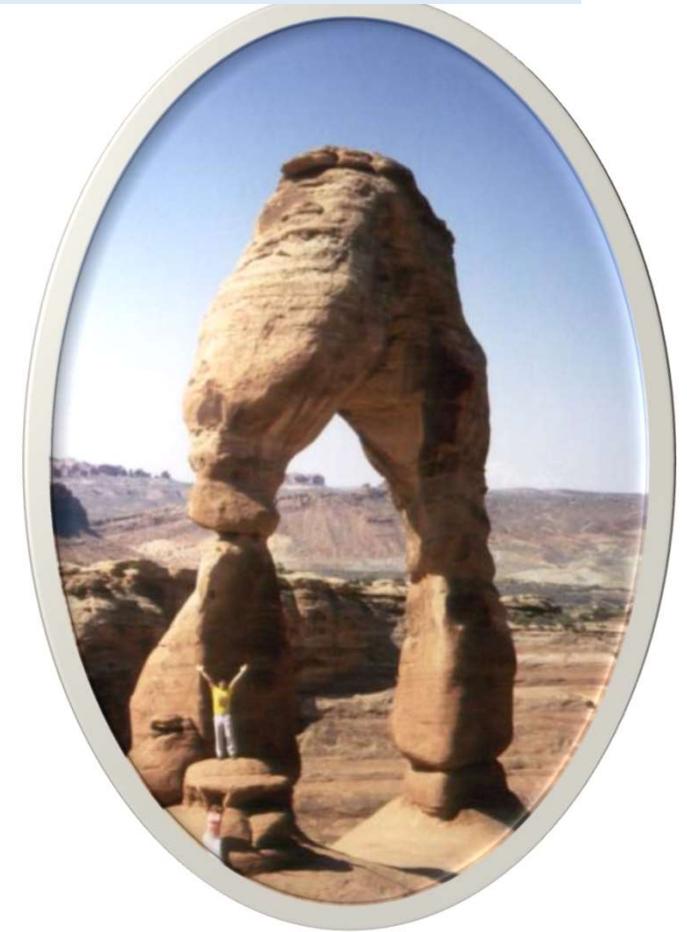
R. M. More



Family Fischer



Pat MaKenty



Arch Nat. Park

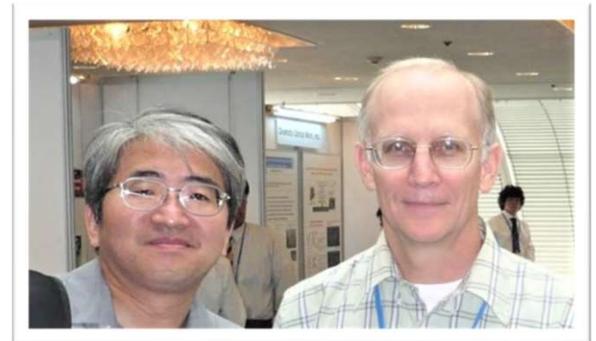
ピンチはチャンス 2と3 (1980-82)とその後

- ドイツで理論のボスがいなくなりピンチ (1981)
- これをチャンスと強引に米国へ移動する。HTJ。(1981.10)
- アリゾナ大学で学生と衝突。ピンチ。
- ボスに正直に話し、助けてもらう。流体不安定への参加
- (English compositionの受講、週3回、半年)
- 流体不安定の解析に成功
- それが、米国3大ICF研究所のシミュレーション結果と一致。(～1990)
- 米国発「Takabe formula」の誕生
- 公式は10年後にBruce Remington, Kim Budilが実験で検証(1992～5)
- 国際人脈を形成 ——> 実験室宇宙物理国際連携へ(1994～)

「Takabe formula」は実験で検証されていく

•In-direct Drive (X-ray drive)

- B. Remington et al., Phys. Plasmas **2**, 241 (1995)
- K. S. Budil et al., Phys. Rev. Lett. **76**, 4536 (1996)



•Direct Drive

- K. Shigemori et al., Phys. Rev. Lett. **78**, 250 (1997)
- H. Azechi et al., Phys. Plasmas **4**, 4079 (1997)



1983: 阪大・激高XII号完成

1985: 爆縮コード開発開始、計算科学開始

1986: 中性子1兆個達成、流体不安定がカギ

ピンチ4

1987: 超新星1987A爆発、宇宙物理研究を開始、流体不安定がカギ

1988: 爆縮データ解析論文、乱流混合が致命的

1992: ソ連崩壊(1991.12.25)、2週間後、ロシア核兵器研究所(C-70)

ピンチ5

1992: 「実験室宇宙物理」概念提唱 1994: 米国リバモア研で実験開始

1996: 包括的核実験禁止条約(CTBT)、科学を基礎とした核兵器の維持管理(SBSS)

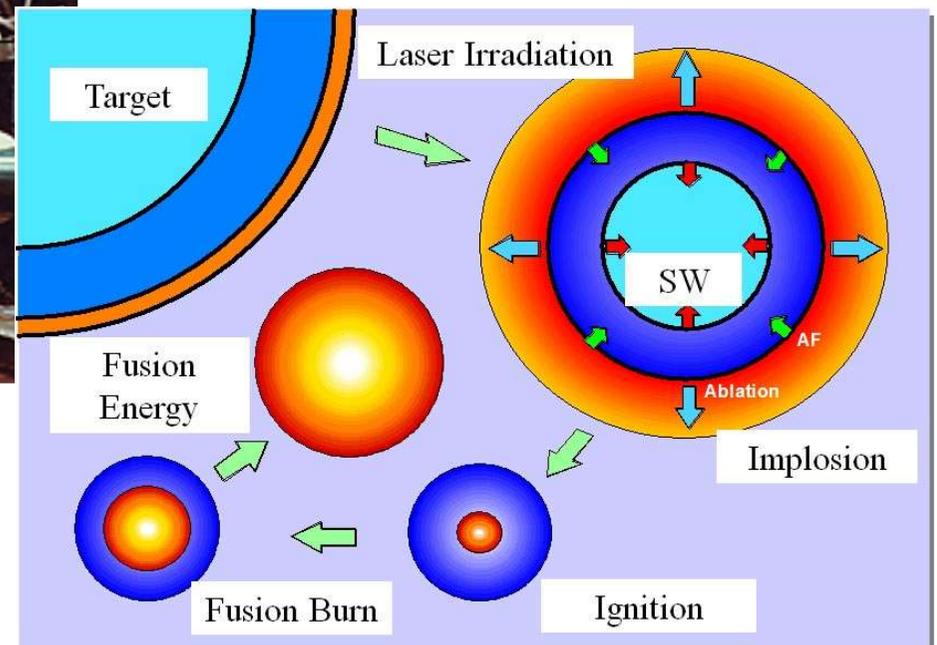
1996: 実験室宇宙物理の国際会議開始

ピンチ4-5は、レーザー核融合の可能性を信じていた私に突き付けられた現実です。それは3つ。まず、完成すぐの激高XIIレーザーで爆縮実験を多数行った結果、データの理論解析から爆縮の流体不安定・乱流混合が致命的であることが分かったこと。2つ目は、レーザー核融合が核保有国では核兵器研究として推進されている事実の確証を得たこと。3つ目は、もはや石油危機は去り核融合の魅力自信が薄れたこと。1990代のこの3つのピンチは、乱流混合という1番目のピンチがチャンスとなりました。そこから、実験室宇宙物理学という新学術分野を生み出すことができた。ピンチとチャンスのおかげです。

帰国(1982年)、目の前には激光XII号が

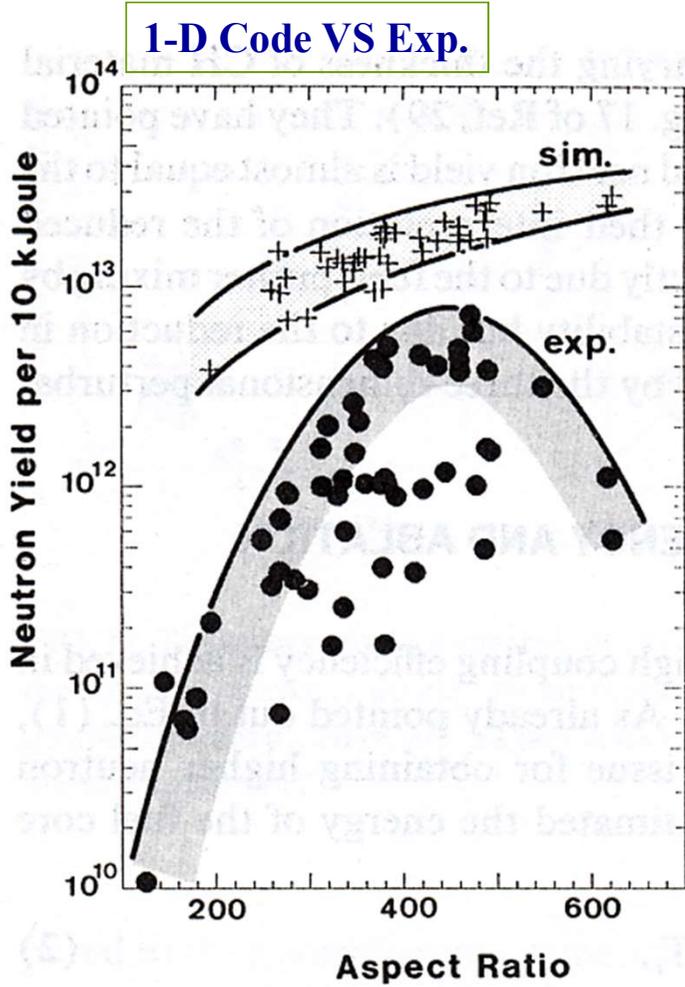


核融合研究
本番

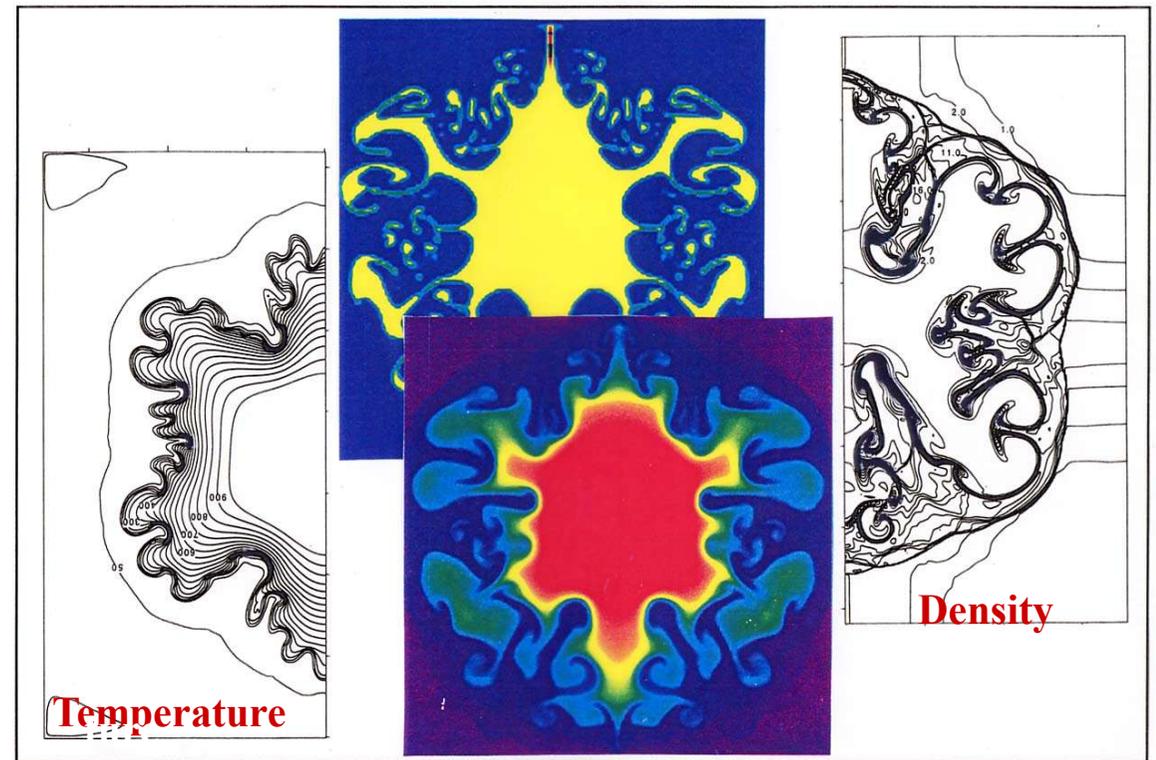


爆縮の最終段階で爆発的に流体不安定が成長

ピンチ4

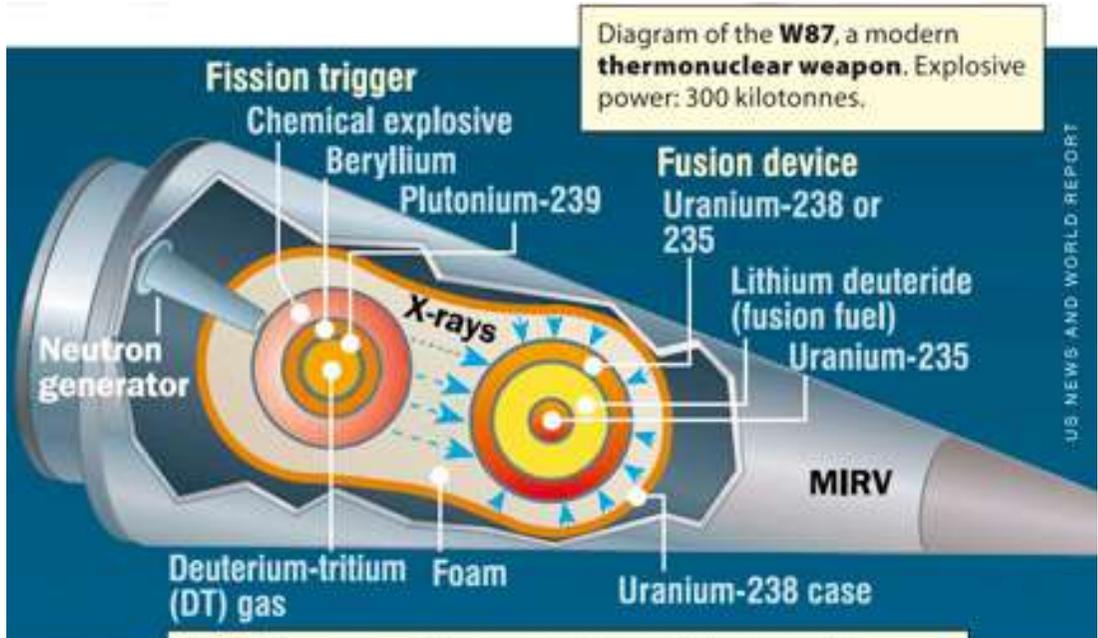
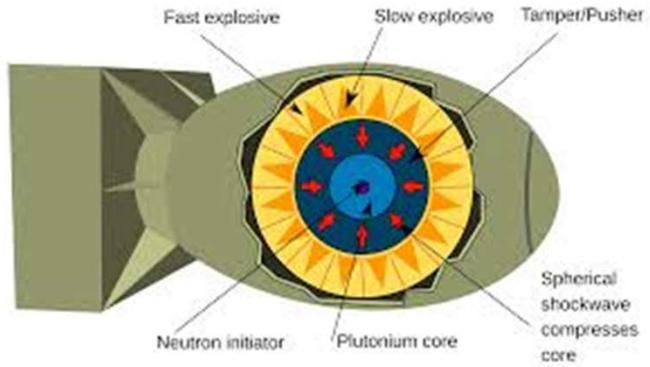


At Max Compression



ピンチ5

10 kTon(AB) → 200 kTon(HB)

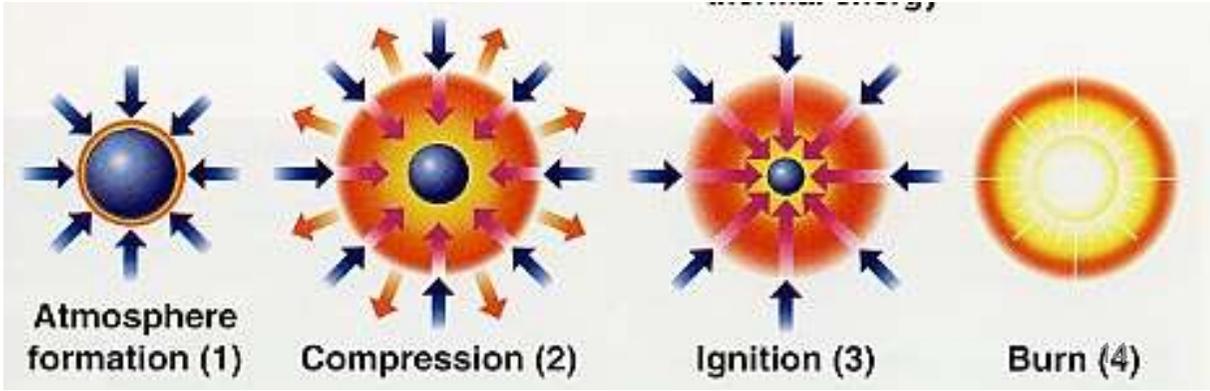


Explosive process: The compression of plutonium with a chemical explosive (above left) starts a fission explosion that, in turn, is boosted by the fusion of DT gas. X-rays then compress the fusion device causing a larger fission/fusion explosion.

原爆・水爆(核兵器)

レーザー核融合

4MJ (1kg) → 400MJ(100kg)



SBSS推進戦略(機密書類)

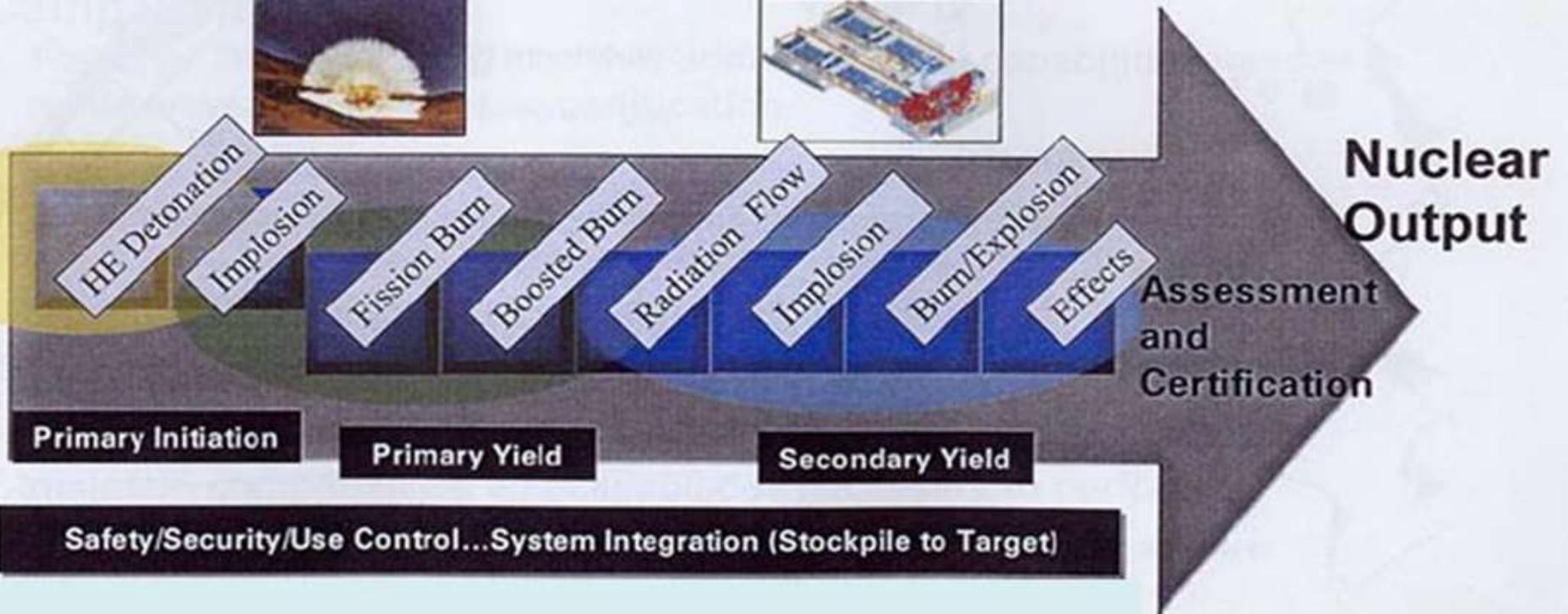
Theory and Simulation



Hydrodynamic Experiments

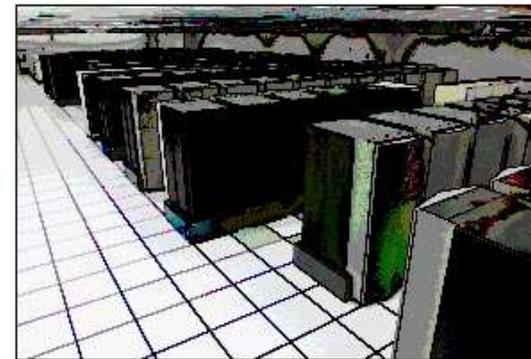


High-Energy-Density Physics



1996年、国連で「包括的核実験禁止条約」(CTBT)に核保有国調印
1997年、核保有国は「科学を基礎とした核兵器の維持管理」(SBSS)へ

S. B. Stockpile Stewardship: Paradigm Shift from Direct Experiments to Simulation (Simulations require validation)



**Underground
test data**

by D. Post (LANL)

新生ロシア一番乗り(チェリヤビンスク70)1992年1月 旧ソ連核兵器研究所(所員2万人、核弾頭設計者2000人)

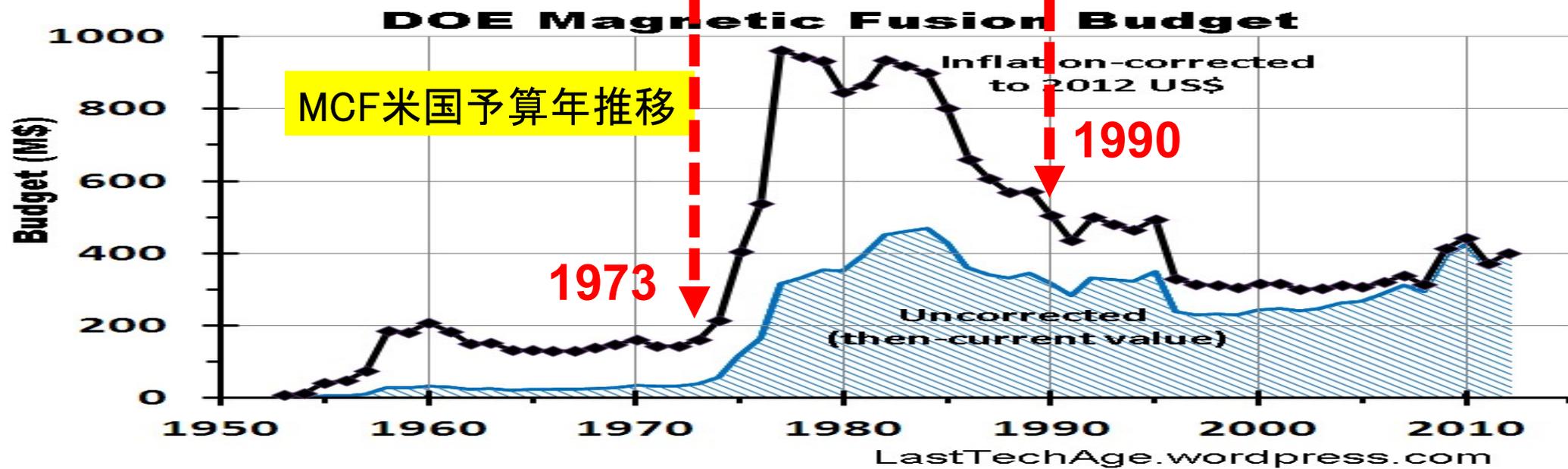
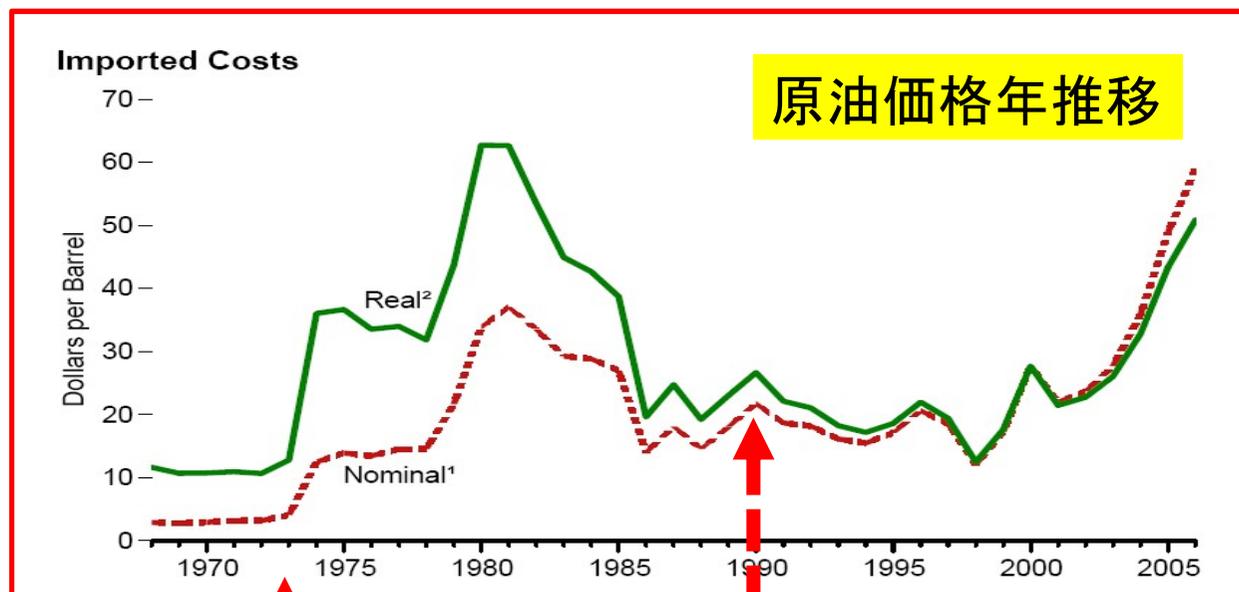


LLNL, LANL, AWE and ILE

私以外は全て核兵器研究所の研究者



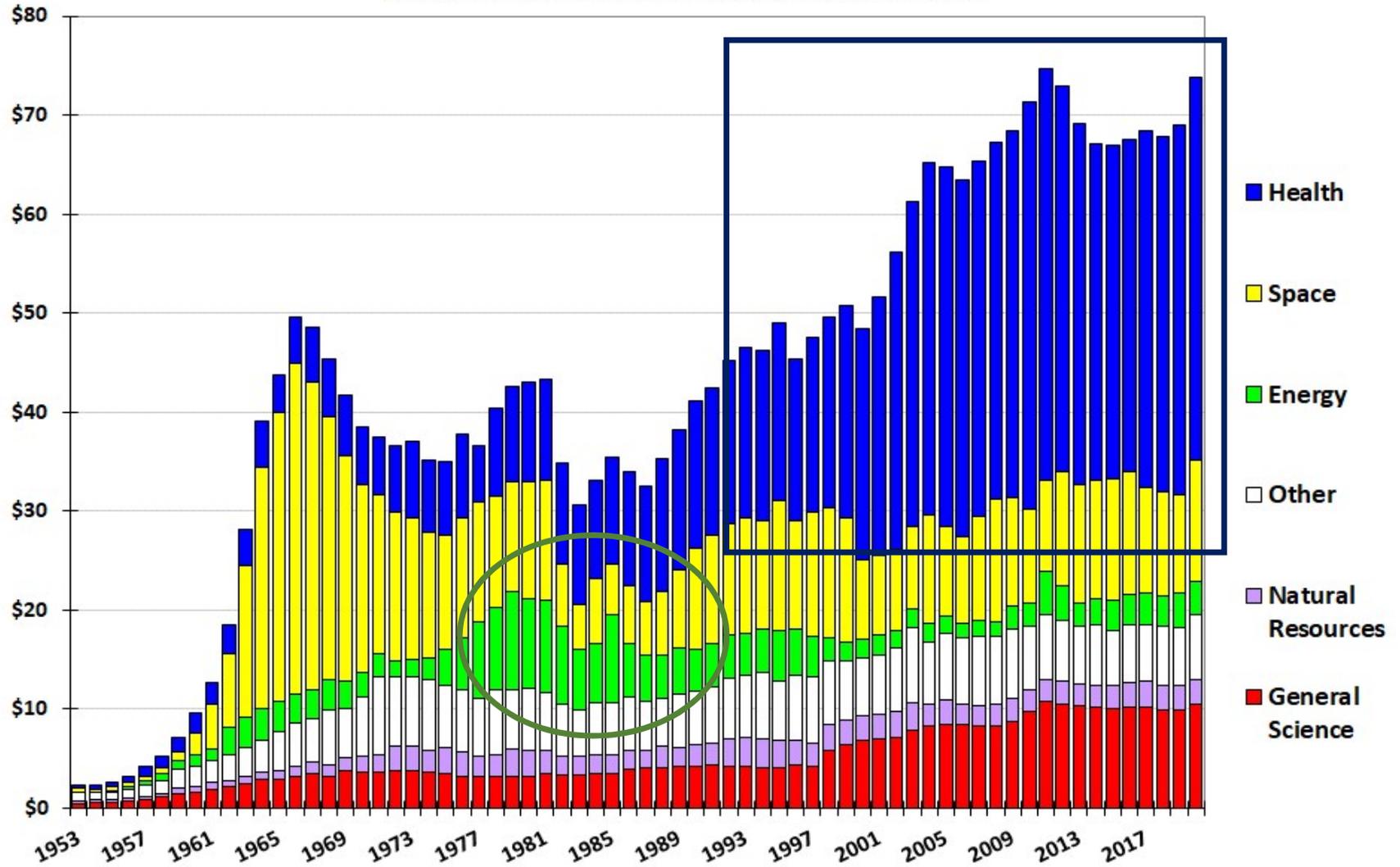
核融合予算は原油価格と相関。石油危機の熱は20年後の1990年代には冷めた。



美国R&D 预算推移 (国防以外)

Trends in Nondefense R&D by Function

outlays for the conduct of R&D, billions of constant FY 2020 dollars



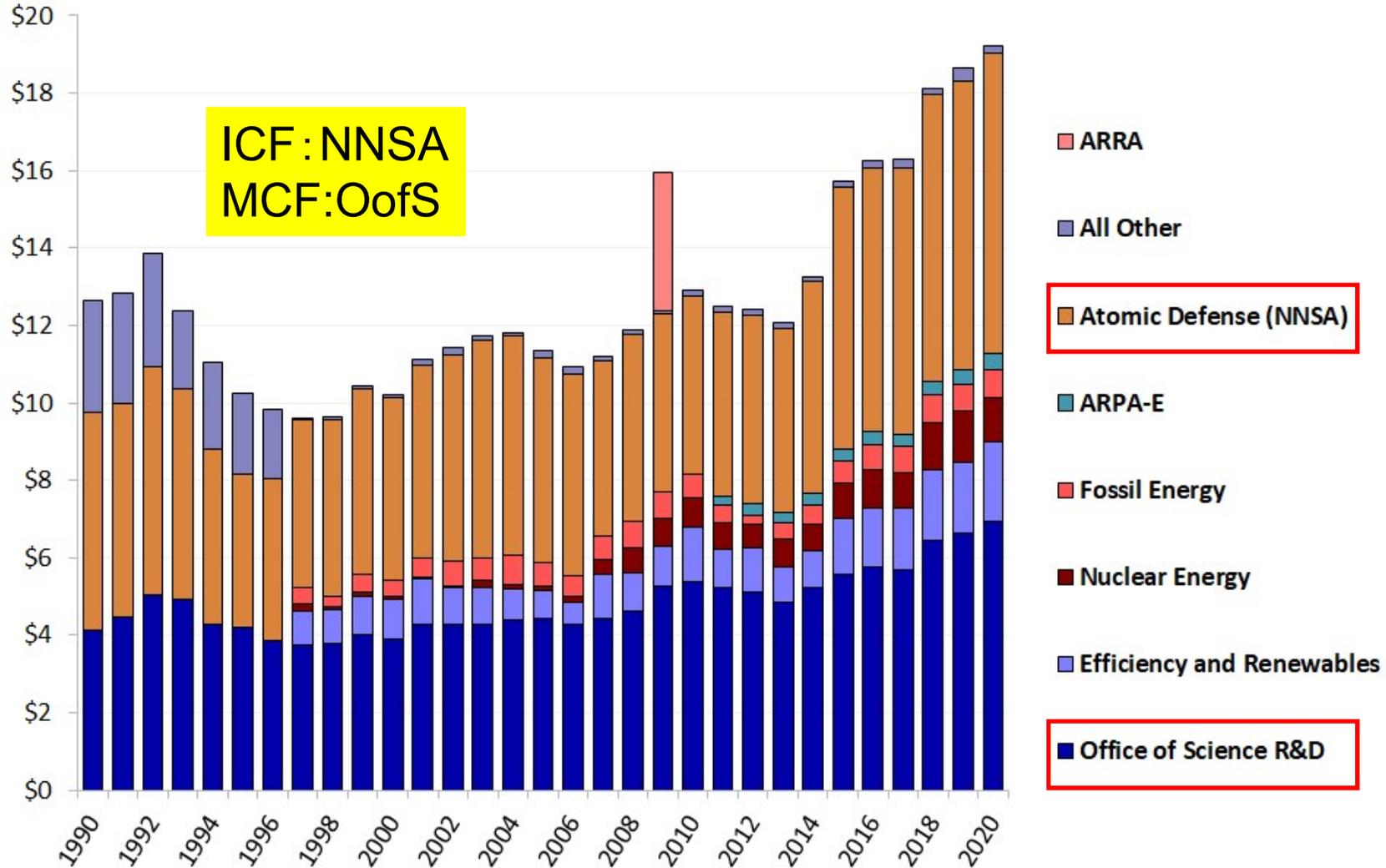
Source: OMB Historical Tables in *Budget of the United States Government FY2021*. Some Energy programs shifted to General Science beginning in FY 1998.

© 2020 AAAS

DOE予算 内訳推移

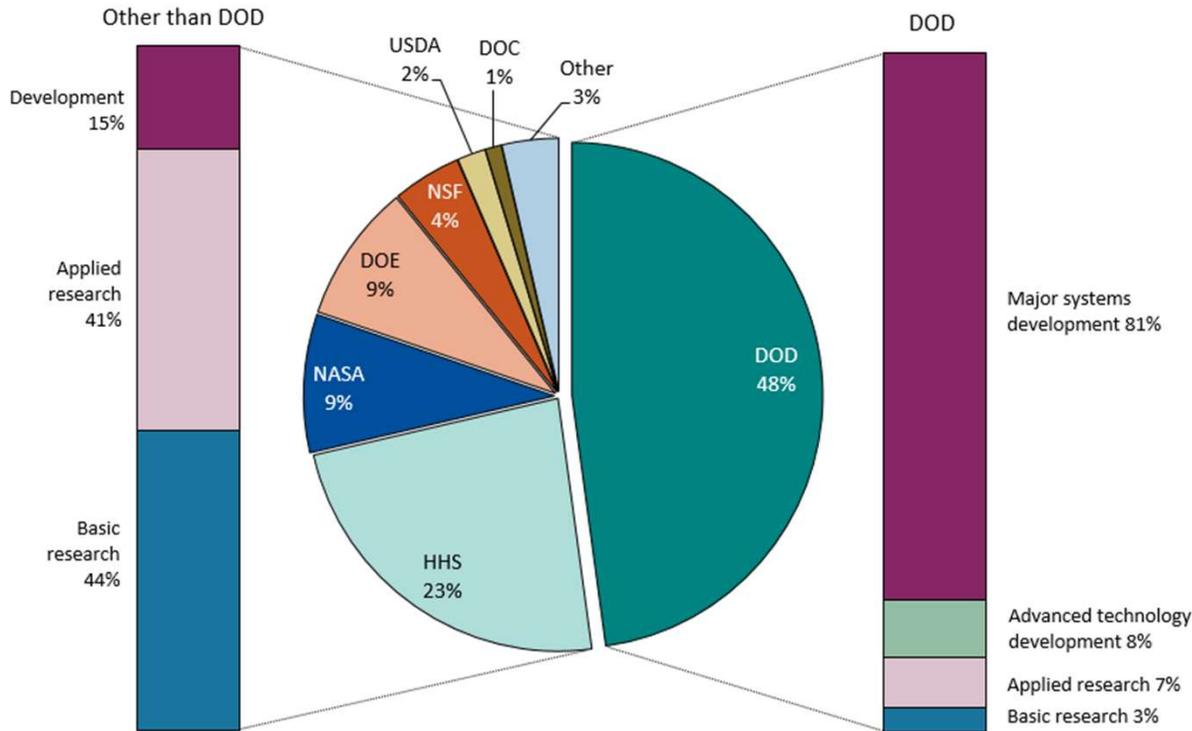
Trends in DOE R&D, FY 1990-2020

in billions of constant FY 2020 dollars



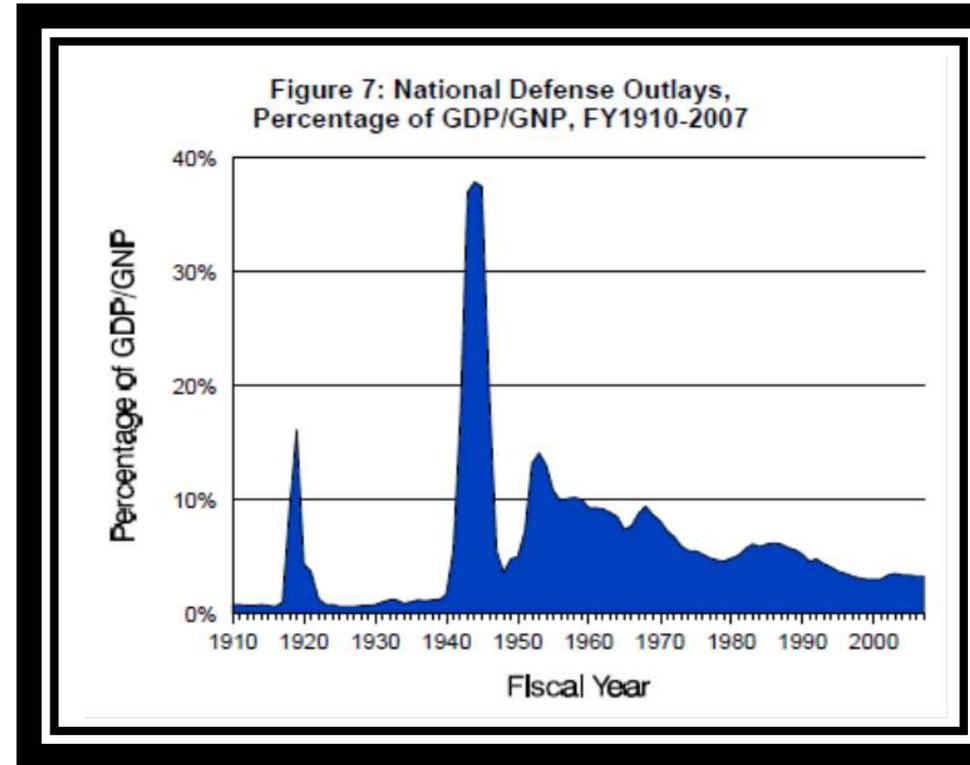
Note: DOE modified its R&D accounting practices such that totals after FY 2014 are elevated and not directly comparable to prior years. Source: Agency and OMB budget data and documents. R&D includes conduct of R&D and R&D facilities. © 2020 AAAS

US Physics related R&D funding



NSF > 2x(JSPS+JST)

JSPS ¥267.1 billion (~\$2.4 B) (2019)
 JST ¥122.5 billion (~\$1.1 B)
 NSF about \$8.3 billion (2020)



ピンチとチャンス4と5 (1986-1990)の教訓

- レーザー爆縮実験で不安定優勢を確信
- レーザー核融合はまだ工学ではない、理学の段階
- 乱流混合という複雑系の物理を理学として究める必要あり
- レーザー核融合は核兵器の維持管理の予算(核保有国)
- 超新星爆発で乱流混合が普遍的と知り勇気をもらう。
- 実験室宇宙物理という学術を目指す

What is Laboratory Astrophysics ?

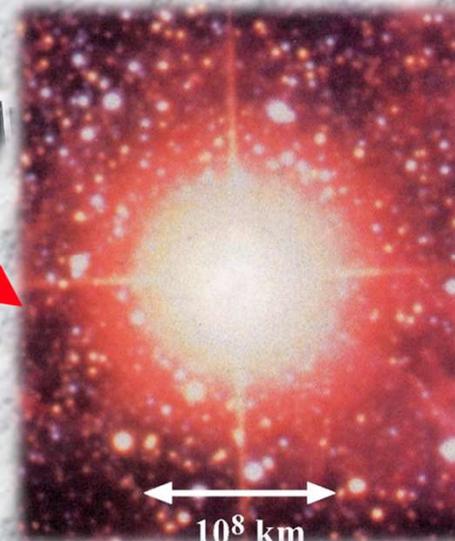
1. Test bed for Numerical Astrophysics
2. New Finding of Physics not Expected
3. Provide Challenging Plasma Physics
4. Prediction of new Astrophysical Physics



Model Experiment



Supercomputer



Supernova

(x10¹⁴)

Space & Time

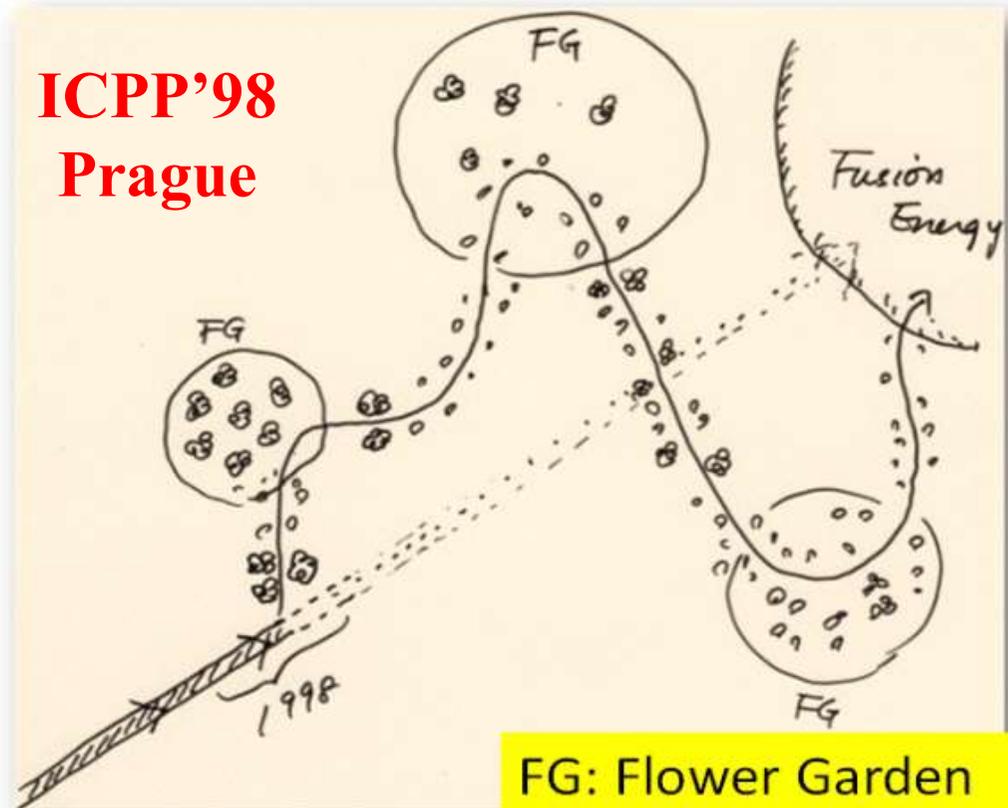
核融合には学術路線が必要であることを千人の前で宣言(1998年)



The City of Prague (a memory of ICPP98)



Marshal Rosenbluth.



FG: Flower Garden
(Garden for Academia)

My research strategy to aim at fusion energy at the stage of 1998. This is shown in panel discussion in final day of ICPP98 chaired by Rosenbluth.

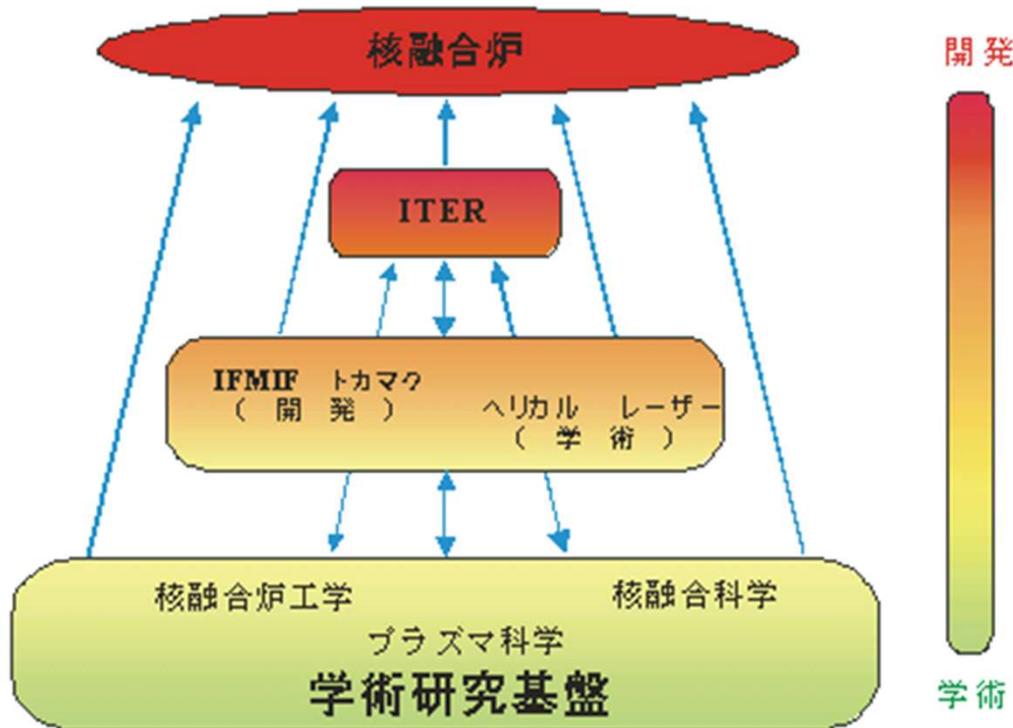
● 資料4-4 今後の我が国の核融合研究の在り方について(報告)

平成15年1月8日

科学技術・学術審議会 学術分科会

基本問題特別委員会 核融合研究ワーキング・グループ

核融合炉実現を目指した研究の階層構造



2003年1月、文科
省はヘリカル・レー
ザーは「学術」と結論
を出した。

- 2001: 省庁統合(1/6)文部省と科学技術庁が文部科学省へ
- 2001: ITER誘致議論、400人の会議(名古屋、1/13-14)、コミュニティに失望 **ピンチ6**
- 2003: 阪大「量子科学研究所」構想。
- 2004: 国立大学法人・大阪大学 発足
- 2006: レーザー研・全国共同利用研究施設「核融合」から「エネルギー学」へ
- 2008: 新センター長(～2016)
- 2008: 学術大型プロ、マスタープラン(学術会議)、ロードマップ(文科省)発足、 **ピンチ7**
- 2008: 流体物理からプラズマ運動論の物理へ、無衝突衝撃波実験の提案
- 2009: 米国LLNLのNational Ignition Facility(NIF)実験開始
- 2010: 無衝突衝撃波実験の国際プロジェクト開始
- 2014: 早期退職決断(4月)、 **ピンチ8**
- 2015: ドイツ・ヘルムホルツ機構ドレスデンに再就職(9月)

ピンチ8は、阪大の早期退職を決断した2014年までの部局での軌轢です。2006年には全国共同利用となり、学術拠点に舵を切ったはずが、「核融合エネルギー研究こそ正義」が復活。「目的研究か学術研究か」の平行線の「不毛な議論」を5年以上繰り返しました。その結果、私は部局を去る決意をしました。ピンチがあればチャンスあり。幸い、ドイツの友人が厚遇で受け入れてくれました。

なぜ、ドイツに行くのか？（最終講義）

1. レーザー核融合を40年も掲げた研究センターに居ることは科学者としての自分の不名誉である。
2. 養老孟司の「バカの壁」。「話せばわかるは幻想に過ぎない」。「核融合原理主義者」と話しても理解し得ない。科学を切り拓く場所としては精神的に不健全である。
3. 10年前「全国共同利用・共同研究センター」に変えたのに、新展開ができない。核融合エネルギーしか知らない、学術に興味のない教授集団の中に居ることに失望した。

ドイツ移住は成功＝学び経験した＝

- 英文教科書執筆依頼(地の利; Springer) 1冊が3巻へ
- HZDRで学んだこと
 - 若者(博士院生、ポスドク)が研究主体、院生給料(月額約20万円)
 - 年配者(任期なし)は若手を支援。若手が活躍しやすい環境。
 - 学位取得後、必ず外に出る。学部大学院はEUの2カ国で。
 - 技術系は人気なし。装置の開発など。事務系も任期なし。
 - 会議、雑用少ない。研究に集中できる。(大学院生に雑用頼んだら叱られた)
 - 機構長に強い権限(内部から機構長なし)、第三者評価、国際的、5～7年ごと。
- ドイツの教育理念
 - 子供は異なる能力を持って生まれる。個々の能力を見出し、伸ばすのが教育。
 - 18歳までに自立した人間をそだてる。調べ、考え、判断し、議論できる個。
 - 学生の英語はnative並。40年前と大違い。

徹底した外部評価

Agenda

December 13th, 2017

(火曜～金曜: 4日間)

Research Field MATTER

Day 1: Tuesday, January, 16th, 2018

<p>04:00 pm – 06:00 pm</p> <p>Hotel Hyperion</p>	<p>Opening session: Introduction <i>Participants: Review Panel, President of the Helmholtz Association, Vice President Matter, Program Spokesperson, Director of the Helmholtz Center, Associated Partners, Representatives of the Scientific Advisory Board (optional), Helmholtz Head Office Representatives</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Welcome: 10'• General introduction to Helmholtz strategy: 20' incl. discussion• Strategy of the Research Field: 15' incl. discussion• Research Programs MML and MT: 15' each incl. discussion• Information about HZDR: 45' incl. discussion
<p>06:00 pm – 07:00 pm</p>	<p>Reviewers' closed session <i>Participants: Review Panel, President of the Helmholtz Association, Helmholtz Head Office Representatives</i></p> <p>General information on program-oriented funding, objective of the scientific evaluation, schedule of the evaluation process, tasks for the reviewers.</p>
<p>07:30 pm</p> <p>Restaurant FELIX</p>	<p>Dinner (Invitation by the President of the Helmholtz Association) <i>Participants: Review Panel, President of the Helmholtz Association, Vice President Matter, Director of the Helmholtz Center, Program Spokesperson, Local organizers (S. Kiele, G. Sauerbrey), Associated Partners, Representatives of the Scientific Advisory Board (optional), Helmholtz Head Office Representatives,</i></p>

英語

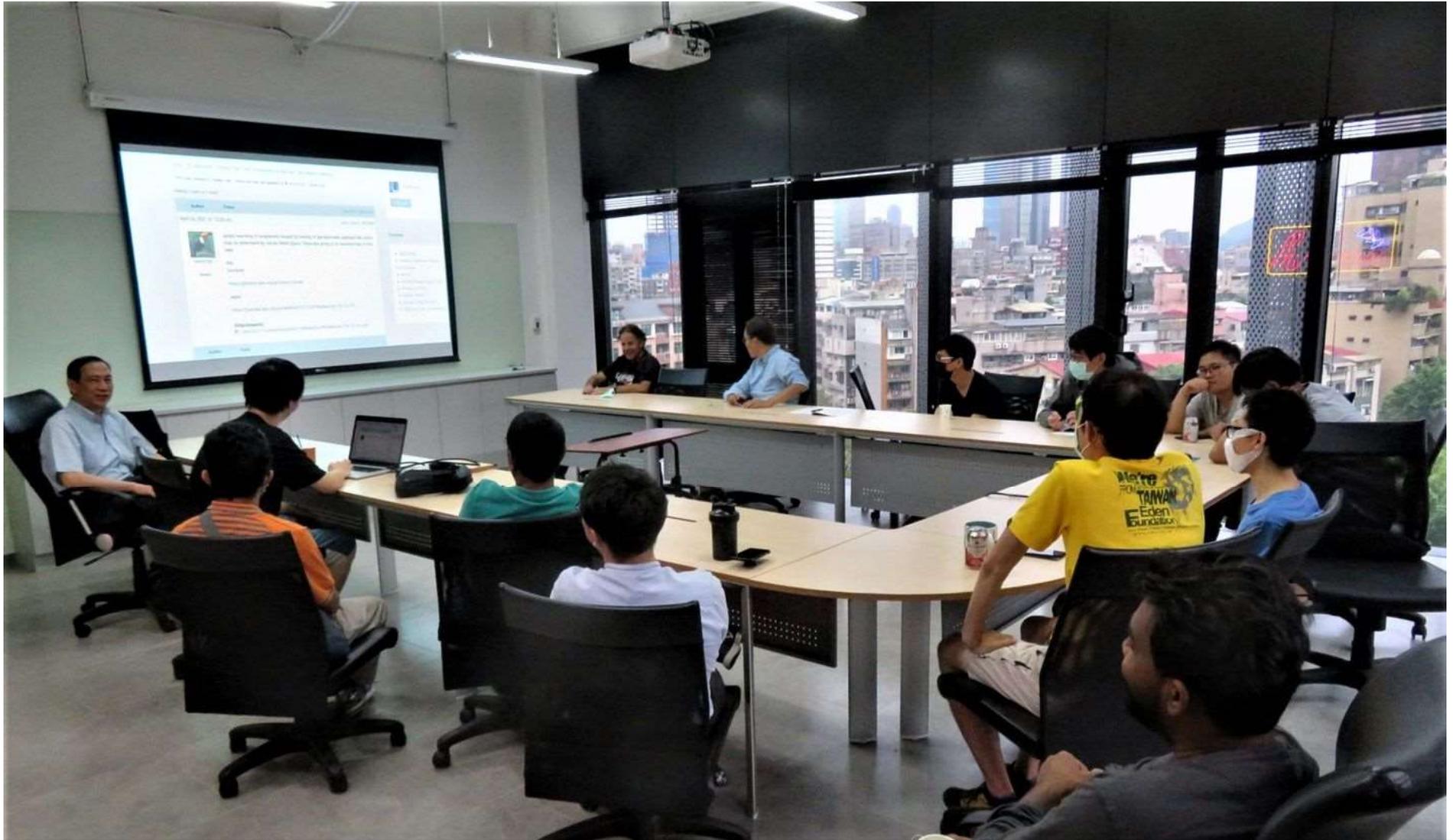
外人が多い
現場視察、パネル
若手との面談
報告書ドラフト

台湾で学んでいること

- 台湾の民主主義
 - 透明性、政府と国民の距離が近い。若者が政治の流れを作る(20歳、投票率70%)
 - 蔣介石。約40年の戒厳令。秘密警察「白色テロ」
 - 1988年、李登輝総統、急速な民主化。2000年に政権交代。
 - 民進党政権、蔡英文「政治の透明性」、「適材適所」、IT大臣(唐)、陳指揮官。
- 国立台湾大学
 - 卒業資格; TOEIC 785点以上、(成功大; 750点)
学生がよく英語喋る。私は気軽に学生捕まえる。
 - 学生の自立性、優秀性(大学院生給料)
 - 物理100人、企業50、海外10、大学院40。
 - 昔は全員、米国6つの有名大学へ。
 - 大学教授はほとんど欧米帰り。



唐鳳(オードリー・タン)



【毎週火曜5時から1時間、Tea-time会議】4人のシニアと沢山の若手が集まり議論。今日はDark matterの最新の論文。私は素人だが、何でも質問。学生たちが聞けないことを代わりに聞いているようなもの。4人のシニアの討論は若手にはとても刺激的に聞こえると思う。とてもいい時間だ。

**Director,
Chen, Pisin**

陳丕燊

A man of great fire





ピンチとチャンス、まとめ

- ピンチに敏感であれ。順応し過ぎると研究者としての進化が止まる。
- チャンスはピンチに中にある。探さない。
- 研究の世界は若手が前面へ。年配者は支援しつつ、本で研究の体系化を。
- 国際的人脈を形成せよ。そして、利用せよ。オンラインの時代、いつでも世界とつながる。
- 個として自立せよ。環境にしがみつくな。自分を大切に。
- しかし、頑固になるな。自分で変わるには大変。面白い誘いを断るな。
- 興味があれば独学せよ。自分を信じて勉強し、専門家を掴まえてどんどん質問せよ。正直に教えを乞え。正直こそ成長の秘訣。
- 人生一度。視野を広げることで人生を楽しめ。

ユニット構築への提案

付録1 ユニット構築への提案

- I. 相対論的ビーム生成のプラズマ波動と電子の相互作用の研究
 1. ハイブリッド・レーザー・プラズマ加速の物理
 2. 相対論的非線形電磁場による宇宙線加速の物理
 3. 加速プラズマ鏡による真空からのホーキング放射の物理
- II. Quark-Gluon-Plasma (QGP)研究
 1. 運動論的非平衡物理の理論・シミュレーション

1.1 Hybrid LWFA-PWFA for next accelerator

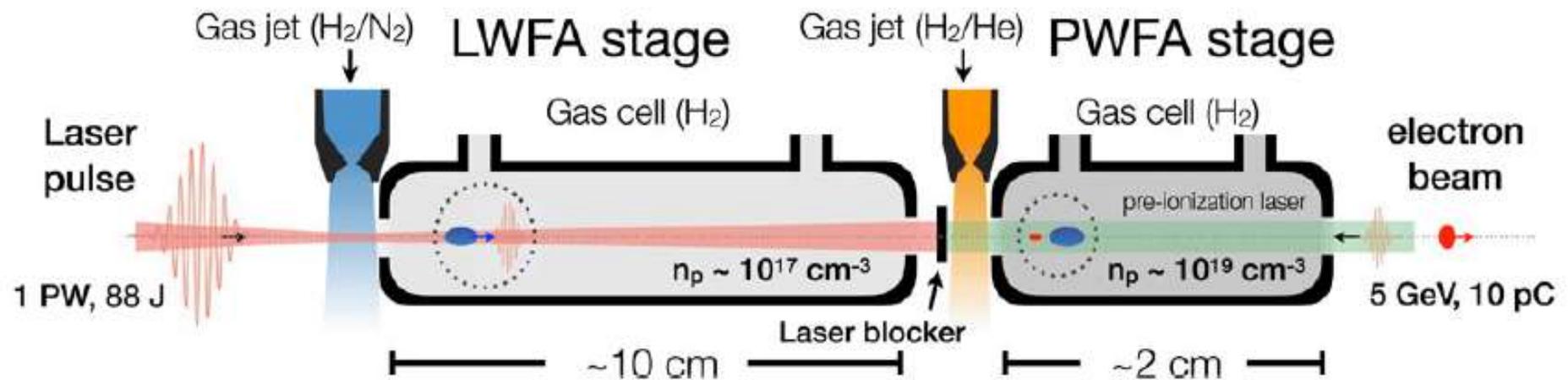


Figure 1. Schematic of a hybrid LWFA–PWFA staged setup with ionization injection. The set-up consists of two quasi-identical plasma acceleration stages coupled to each other. In each stage, the injection of a witness beam is induced by field-ionization from the dopant species contained in the gas jet. Immediately after the gas jet, a longer plasma cell with no dopant is used to further accelerate the generated witness beam. (Online version in colour.)

A. Martinez et al (HZDR), Hybrid LWFA–PWFA staging as a beam energy and brightness transformer: conceptual design and simulations, *Phil. Trans. R. Soc. A* **377**: 20180175. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2018.0175>

Recent experiment at HZDR, Dresden

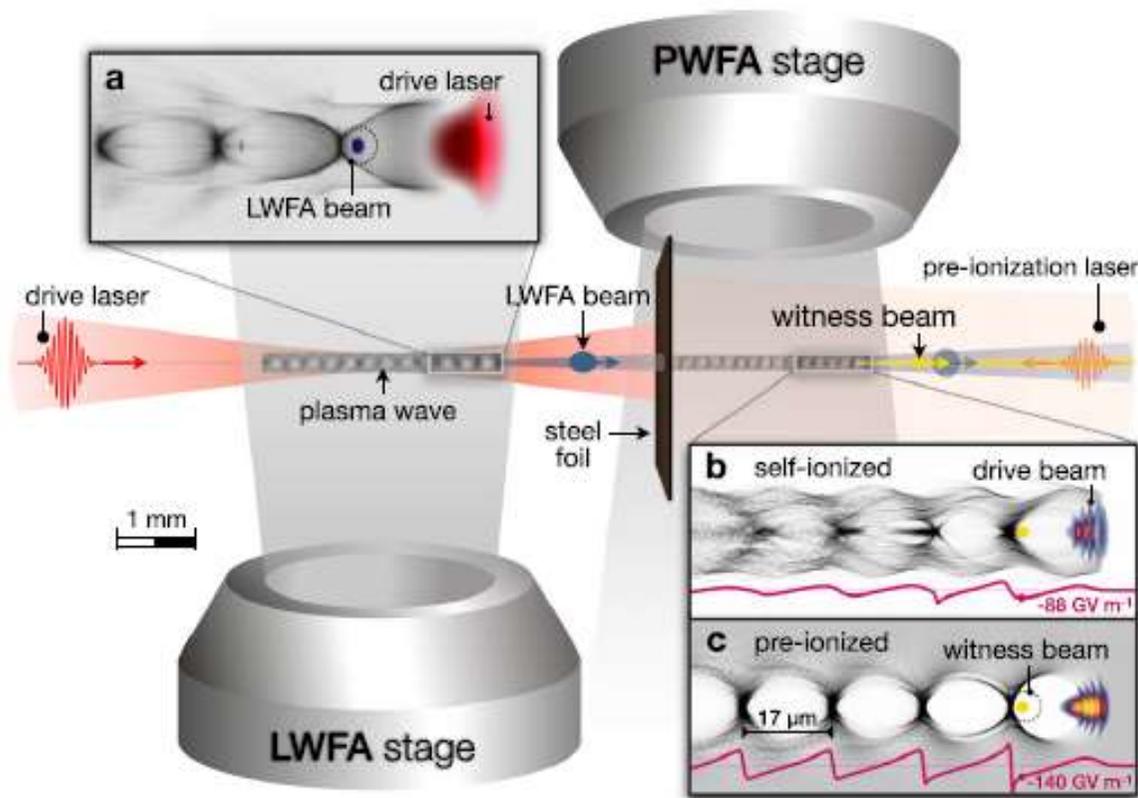


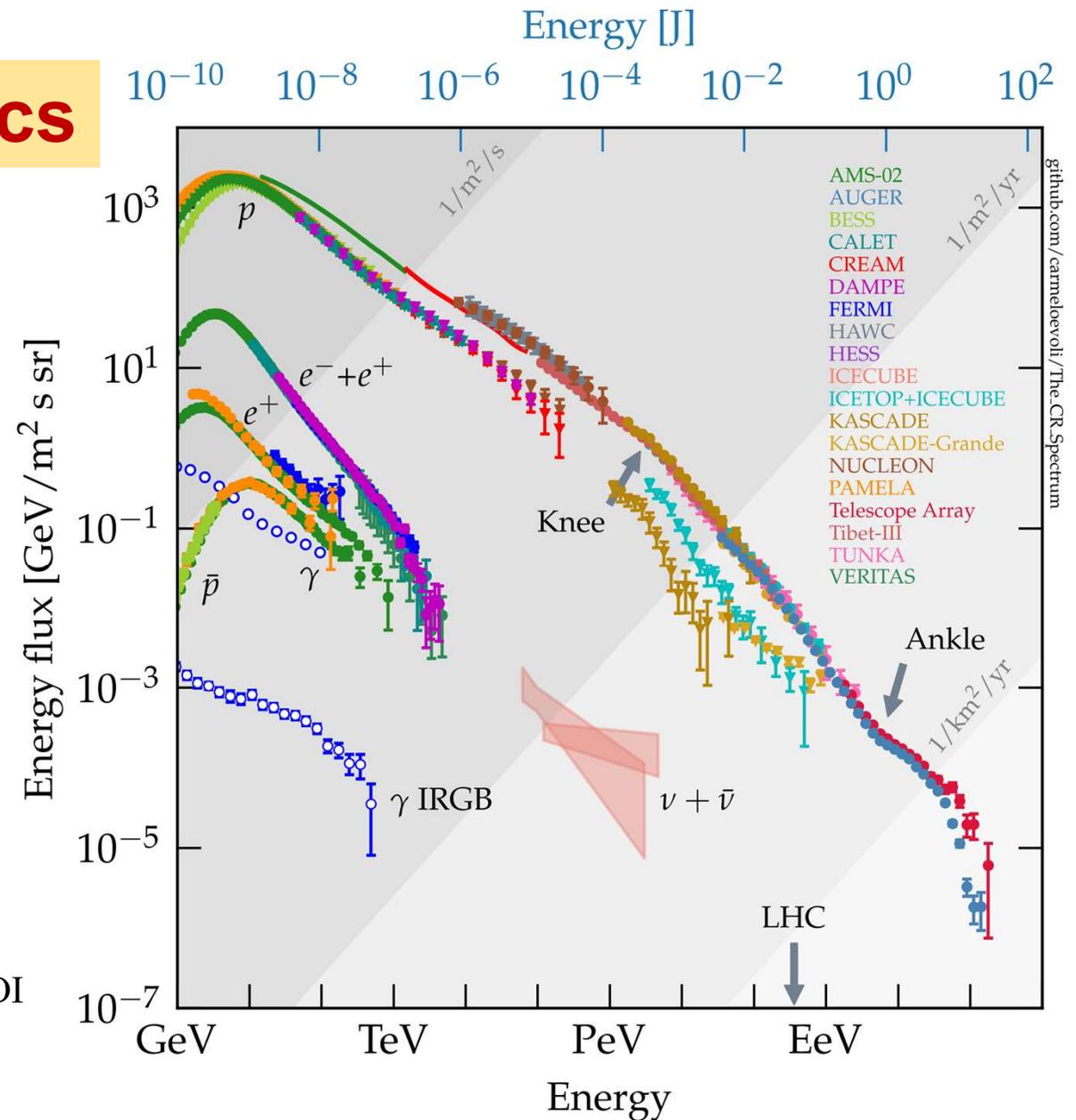
Fig. 1 Schematic overview of the experiment. Two consecutive gas jets

T. Kurz et al., *Demonstration of a compact plasma accelerator powered by laser-accelerated electron beams*, NATURE COMMUNICATIONS | (2021) 12:2895 | <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23000-7>

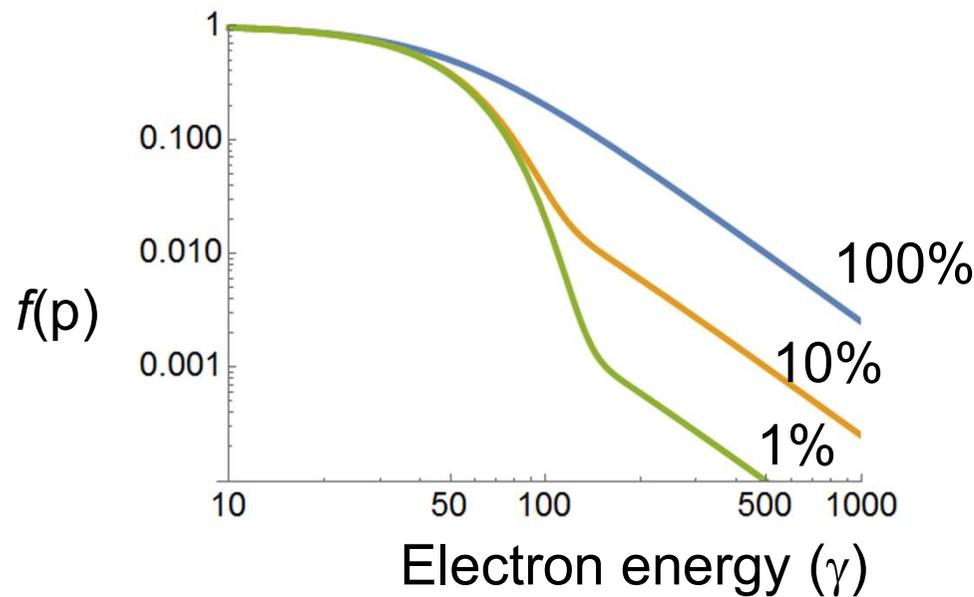
1.2 Cosmic-ray physics

The observation data of energy spectra of the cosmic-rays updated on December 2020. All results obtained in 19 observatories worldwide are plotted with different colors. The collision energy of the largest accelerator LHC is also indicated as reference. [Evoli 2020]

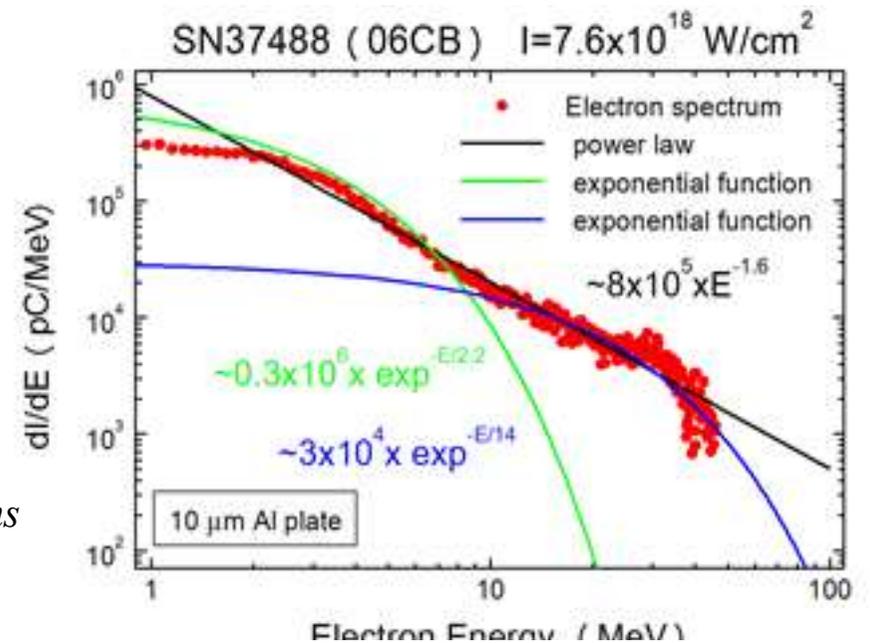
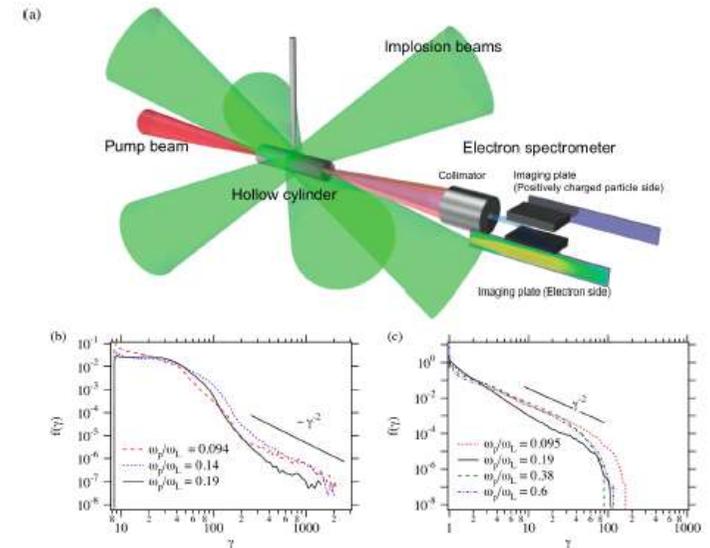
C. Evoli, *The Cosmic-Ray Energy Spectrum*, DOI 10.5281/zenodo.4396125, December 1, 2020.



Nonlocal stochastic acceleration by relativistic laser and/or wake-field

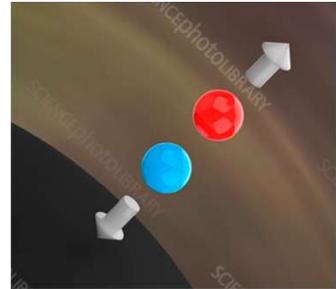


H. Takabe, in Chapter 9, *The physics of laser plasmas and applications* (Springer, 2020); <https://www.springer.com/gp/book/9783030496128>

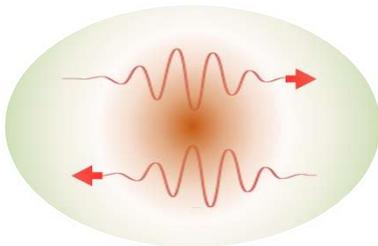


1.3 Physics of Hawking radiation

S. W. HAWKING , *Nature* volume 248, 30–31(1974)



Entangled state



$$\Delta x \Delta p \sim \hbar$$

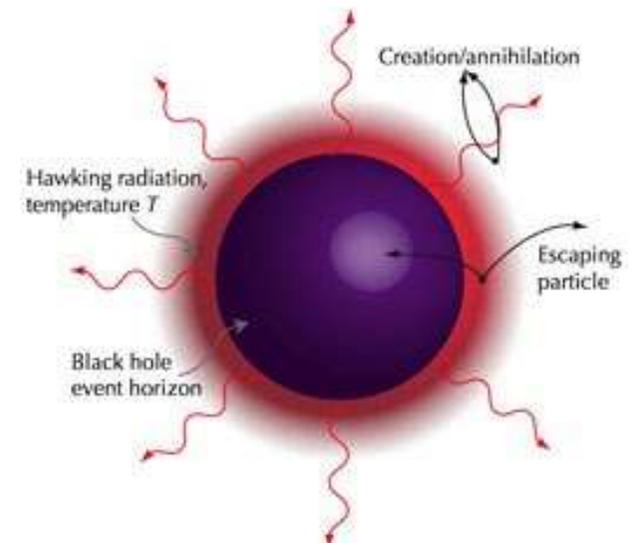
Assume particles have mass m

$$\Delta x \sim \frac{\hbar}{2\Delta p} \sim \frac{\hbar}{2mc} \quad \text{Compton length}$$

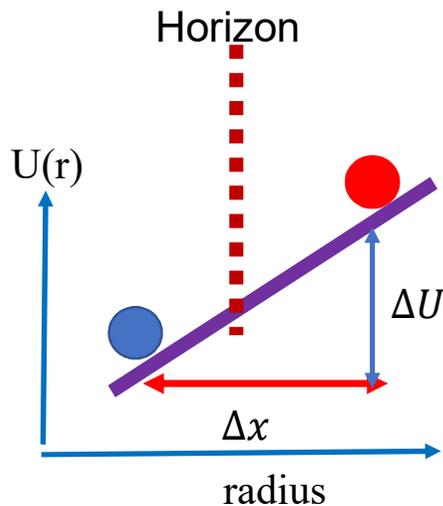
$$\Delta E \sim \frac{1}{2} \Delta U \approx \frac{mGM}{2r^2} \Delta x = \frac{GM}{4c^2} \hbar$$

$$\text{If } r = r_g \equiv \frac{2GM}{c^2} : \text{Schwarzschild radius}$$

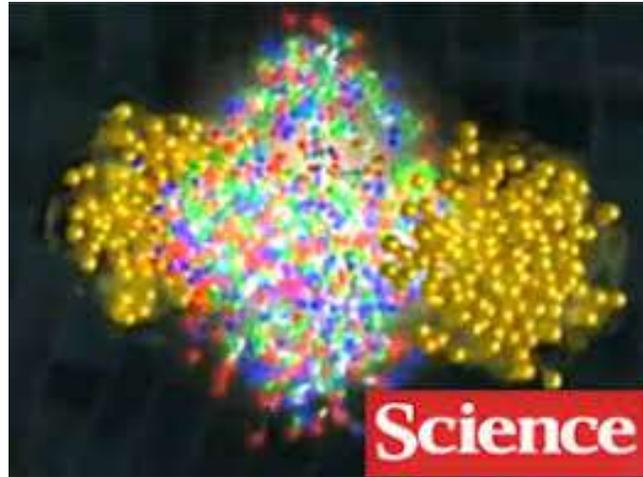
$$\Delta E = \frac{\hbar c^3}{16GM} \quad \frac{3}{2} k_B T = \Delta E \quad T = \frac{\hbar c^3}{24k_B GM}$$



$$T_{BH} = \frac{\hbar c^3}{8\pi k_B GM}$$



2. Quark-Gluon-Plasma (QGP)



Yang-Mills Eq.

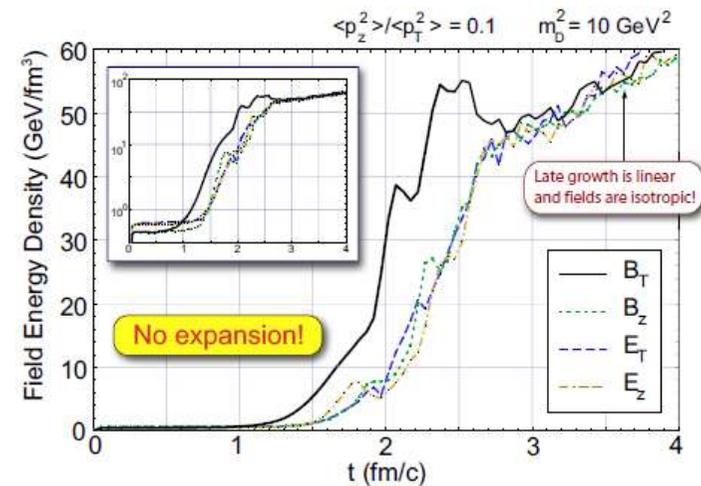
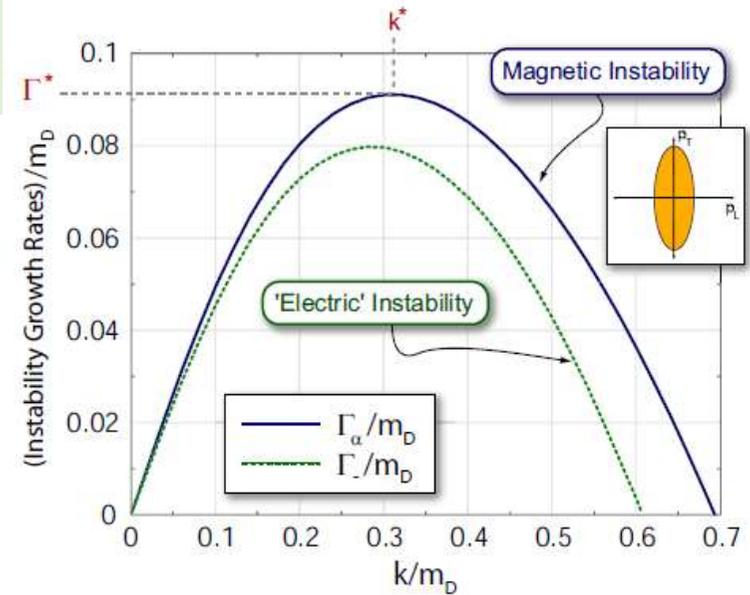
$$\frac{d\mathbf{x}_i}{dt} = \mathbf{v}_i, \quad (8)$$

$$\frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = g q_i^a (\mathbf{E}^a + \mathbf{v}_i \times \mathbf{B}^a), \quad (9)$$

$$\frac{d\mathbf{q}_i}{dt} = ig v_i^\mu [A_\mu, \mathbf{q}_i], \quad (10)$$

$$J^{a\nu} = \frac{g}{N_{\text{test}}} \sum_i q_i^a v_i^\nu \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i(\mathbf{t})). \quad (11)$$

Michael Strickland, *The Chromo-Weibel Instability*, Brazilian Journal of Physics, vol. 37, no. 2C, June, (2007).



最後に

- 日本人は評価下手。外部評価を生かせない。形だけ。
- 頑固な人は人生のチャンスを逃す。自己変革を。
- 私の知る、物理がよくできる秀才。柔軟はいいが、浮草のよう。風が吹いたら枝だけでなく、根まで動く。理念も哲学もない。
- 柔軟でも柳の木のように、しっかり根を土に張って。
- 核融合科学研究所のユニットの未来に期待しています。