

■本資料のご利用にあたって(詳細は「利用条件」をご覧ください)

本資料には、著作権の制限に応じて次のようなマークを付しています。
本資料をご利用する際には、その定めるところに従ってください。

*****: 著作権が第三者に帰属する著作物であり、利用にあたっては、この第三者より直接承諾を得る必要があります。

CC: 著作権が第三者に帰属する第三者の著作物であるが、クリエイティブ・コモンズのライセンスのもとで利用できます。

Ⓒ: パブリックドメインであり、著作権の制限なく利用できます。

なし: 上記のマークが付されていない場合は、著作権が東京大学及び東京大学の教員等に帰属します。
無償で、非営利的かつ教育的な目的に限って、次の形で利用することを許諾します。

- I 複製及び複製物の頒布、譲渡、貸与
- II 上映
- III インターネット配信等の公衆送信
- IV 翻訳、編集、その他の変更
- V 本資料をもとに作成された二次的著作物についての I からIV

ご利用にあたっては、次のどちらかのクレジットを明記してください。

東京大学 Todai OCW 学術俯瞰講義
Copyright 2013, 五神 真

The University of Tokyo / Todai OCW The Global Focus on Knowledge Lecture Series
Copyright 2013, Makoto Gonokami



2013/1/18: 2012年度冬学期
学術俯瞰講義
光の科学－未来を照らす究極の技術とアイデア



光技術のこれから

東京大学 大学院理学系研究科物理学専攻 教授
工学系研究科附属 光量子科学研究センター センター長

五 神 真

<http://www.gono.t.u-tokyo.ac.jp/>

Outline

1. 俯瞰講義をふりかえる
2. 虹
3. 疑問質問コーナー
ミニッツレポートから
4. 光技術のこれから
微小球に光を閉じ込める
レーザー技術の革新と光技術

講義内容



- 自然の理解を進めた光技術

井上 慎 (工学部)



- 光を導き、活用する

保立 和夫 (工学部)



- 時を極める

香取 秀俊 (工学部)



- より速く、より強く

石川 顕一 (工学部)



- 自然や人間を光で観るー原子から精神まで

小泉 英明 (日立製作所)



- 微かな光の不思議な世界

小芦 雅斗 (工学部)



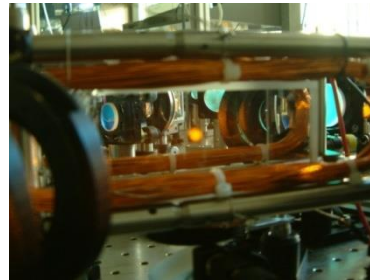
- 光のデザイン

石井 幹子 (照明デザイナー)



- 光技術のこれから

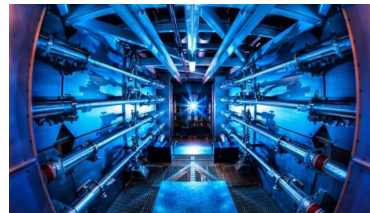
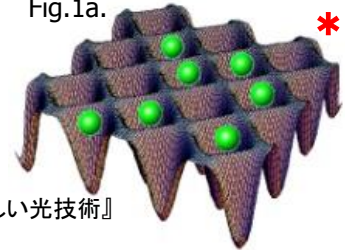
五神 真 (理学部)



* 井上慎先生ご提供

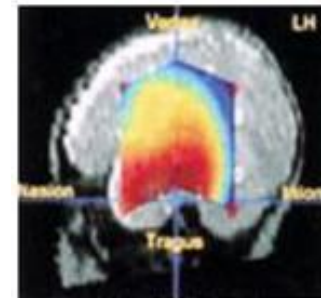


Takamoto et al. (2005) "An optical lattice clock," *Nature* 435(7040): 321-324, p.321, Fig.1a.

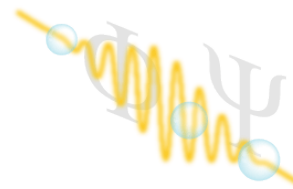


光産業技術振興協会編『やさしい光技術』
オプトロニクス社、1998年
p.24図1「光ファイバケーブル」

Lawrence Livermore National Laboratory
https://www.llnl.gov/news/news_releases/2012/Jul/NR-12-07-01.html



* 小泉ら(2004)「脳と心を観るー無侵襲高次脳機能イメージング」『電子情報通信学会誌』第87巻第3号、207-214、p.212、図8(a)



(株)石井幹子デザイン事務所

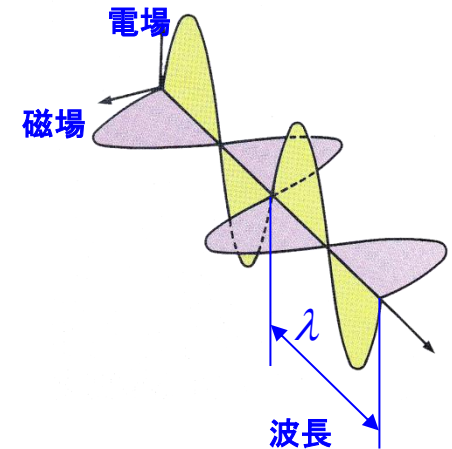
光とは

光は電磁波

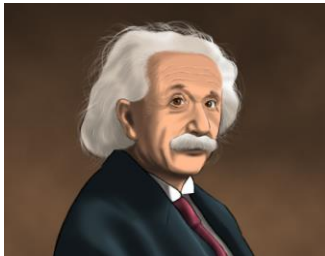
電波: TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$
 $k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV} / \text{K})$

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

量子性が本質的に重要

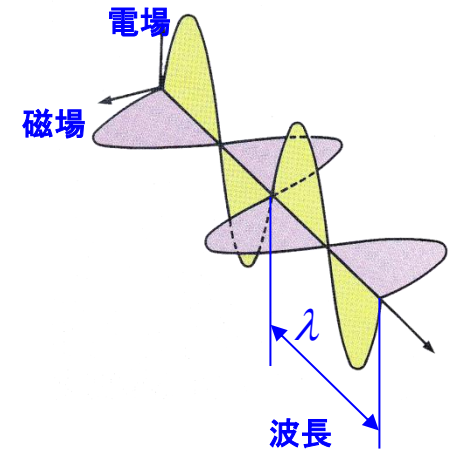
光とは？

光は電磁波

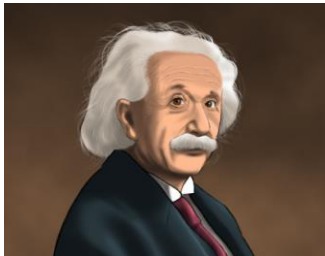
電波: TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$
 $k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV/K})$

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

量子性が本質的に重要

光とは？

光は電磁波

電波：TBS ラジオ

$$f = 954,000\text{Hz}$$

光：Sr原子時計

$$f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$$

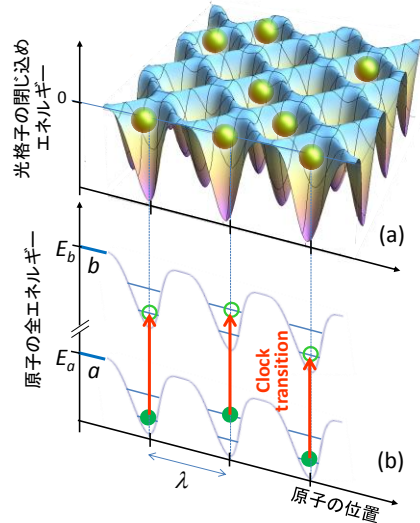


第6回(11/15)

時を極める 香取 秀俊(工学部)

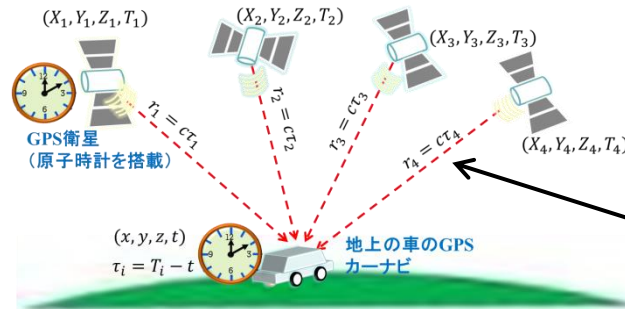
電波:TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$



* 香取秀俊(2011)「光格子時計による時空間のリアルタイム計測」『表面科学』第32巻第12号、797-800、p.799、Fig.1

30分の計測で17桁
 →10センチの高低差の重力効果を検知

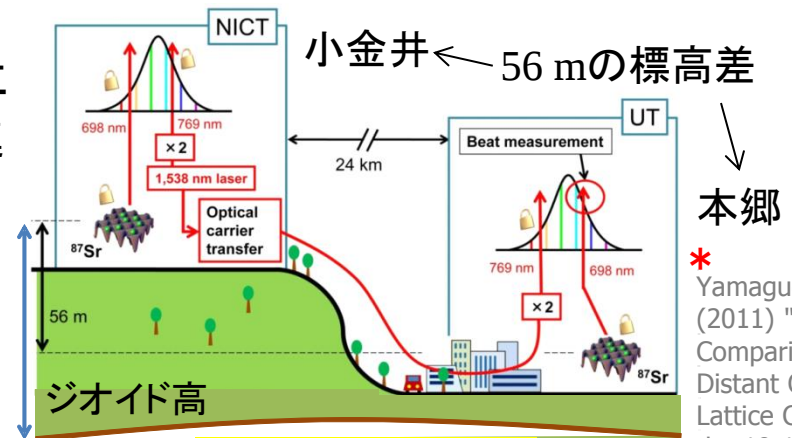


* 香取秀俊先生作成

一般相対論の予言
 重力の強いところでは時間が遅く進む

2万キロ
 地上では、GPS衛星より1秒につき100億分の5秒遅く進む

地上でも標高によって時間の進み方が違う



相対論測地技術

本郷

* Yamaguchi *et al.* (2011) "Direct Comparison of Distant Optical Lattice Clocks at the 10-16 Uncertainty," *Applied Physics Express* 4: 082203, p.2, Figs.1, 2(a).

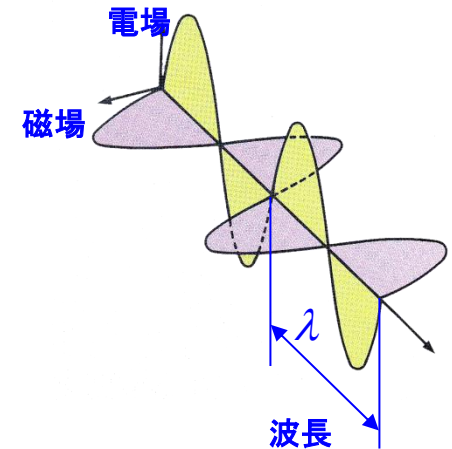
光とは

光は電磁波

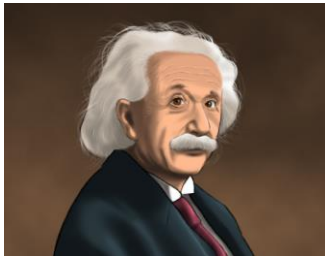
電波: TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$
 $k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV} / \text{K})$

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

量子性が本質的に重要

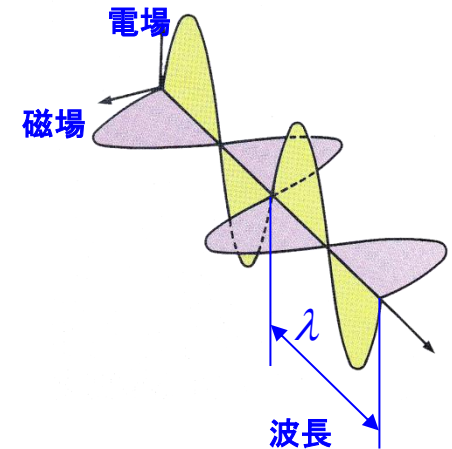
光とは？

光は電磁波

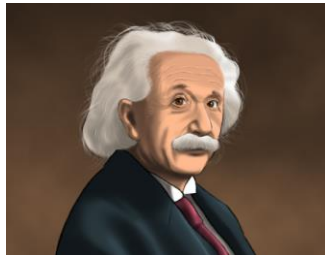
電波: TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$

$k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV/K})$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

量子性が本質的に重要

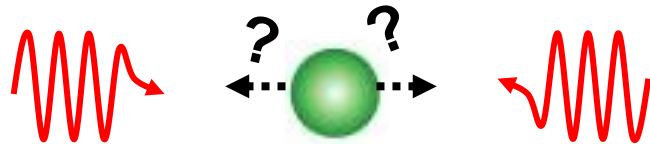


第2回(10/18):光学と力学、第3回(10/25):絶対零度への挑戦

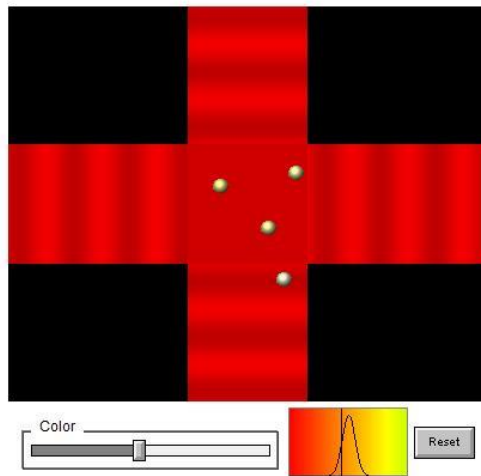
自然の理解を進めた光技術

井上 慎(工学部)

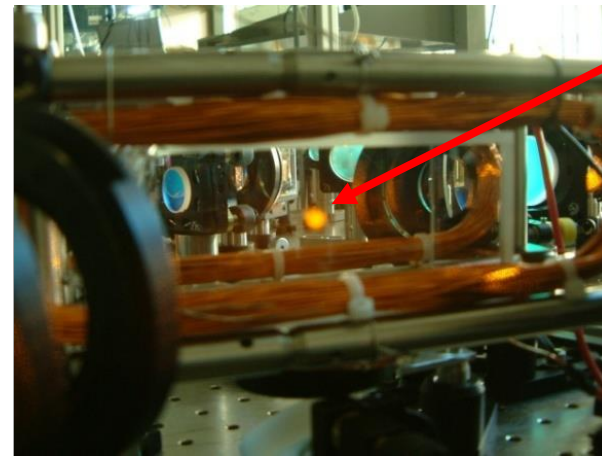
絶対零度への挑戦



Laser Cooling and Trapping: Optical Molasses



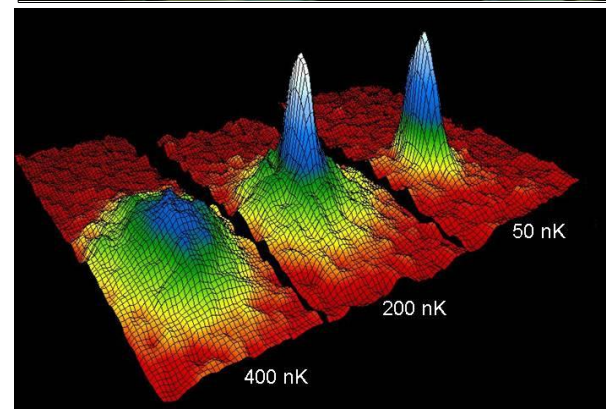
* Physics 2000
<http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/lascool4.html>



原子集団

レーザー冷却

* 井上慎先生ご提供



ボース・
アインシュタイン
凝縮



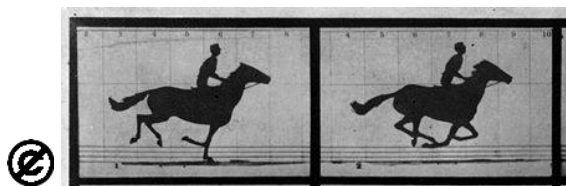
NIST/JILA/CU-Boulder
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bose_Einstein_condensate.png



第7回(11/29):一瞬への挑戦ー超短パルスレーザー
第8回(12/6):高エネルギーへの挑戦ー高強度レーザー

より速く、より強く 石川 顕一(工学部)

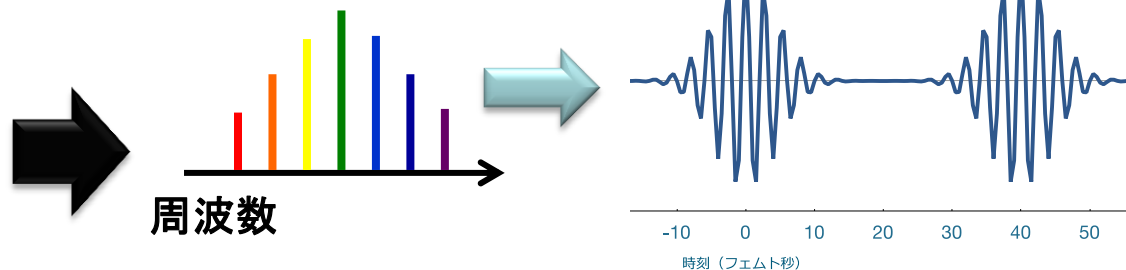
1878年



馬の全ての脚が地面から離れる瞬間があるか？

一瞬への挑戦が始まる

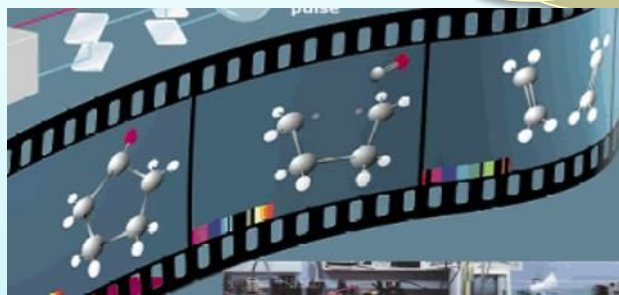
現代の科学者は瞬間的に光るレーザーを高速カメラとして使っている



多数の周波数(波長)の位相のそろった重ね合わせがフェムト秒パルス

さらに、今世紀に入ってアト秒レーザーも実現

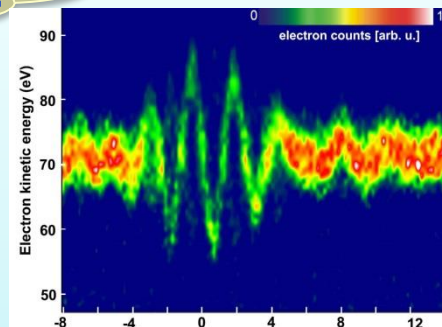
これで何を写すの？



分子の変形のムービー(フェムト秒化学)

Copyright © The Royal Swedish Academy of Sciences

<http://www.nobelprize.org/>



光の電界の直接計測(アト秒科学)

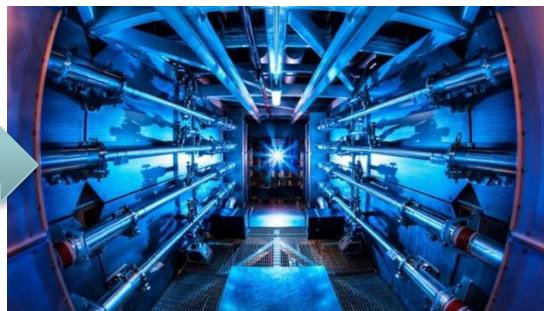
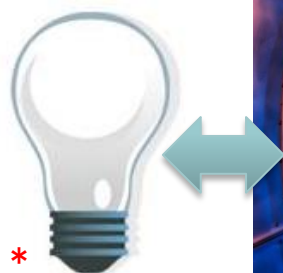
Courtesy of Dr. Eleftherios Goulielmakis



第7回(11/29):一瞬への挑戦ー超短パルスレーザー
第8回(12/6):高エネルギーへの挑戦ー高強度レーザー

より速く、より強く 石川 顕一(工学部)

7.5ワット ペタワット(1000兆)ワットレーザー



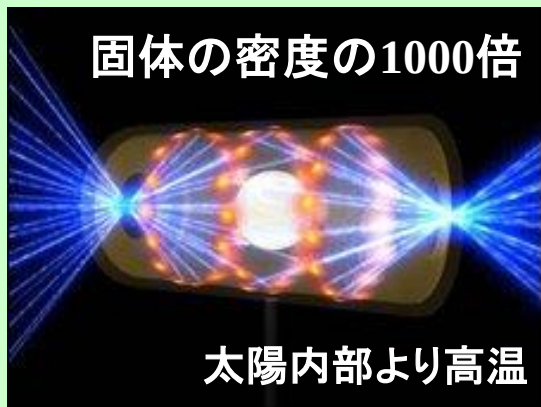
原発100万基分

全世界の発電容量の300倍

* Lawrence Livermore National Laboratory
<https://www.llnl.gov/news/newsreleases/2012/Jul/NR-12-07-01.html>

レーザー核融合

固体の密度の1000倍

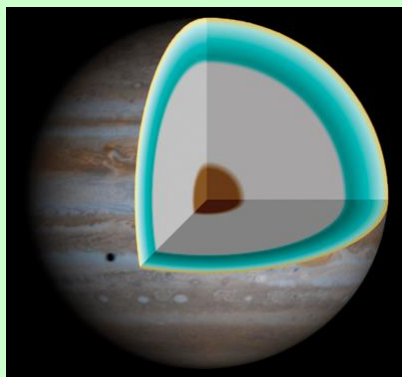


太陽内部より高温

*

Lawrence Livermore National Laboratory
https://lasers.llnl.gov/multimedia/photo_gallery/overview/?id=18&category=overview

実験室宇宙物理学



惑星中心部の状態を
地上で実現・研究

NASA/JPL/University of Arizona, R.J. Hall
Wikimedia Commons より転載
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jupiter_interior.png

素粒子物理学(真空の非線形性)

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

The Telegraph掲載記事
Richard Gray
"World's most powerful laser to tear apart the
vacuum of space,"
30 Oct 2011, Image 1.

<http://www.telegraph.co.uk/science/science-news/8857154/Worlds-most-powerful-laser-to-tear-apart-the-vacuum-of-space.html>

真空をレーザーで破壊できるかも

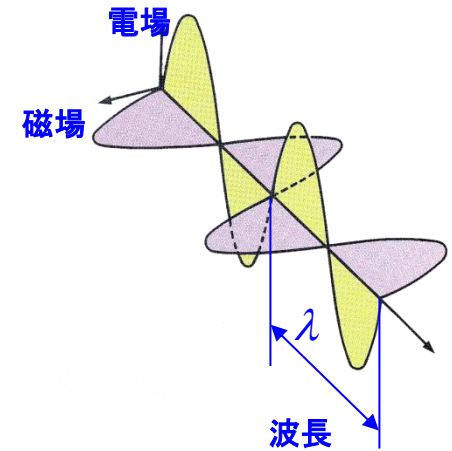
光とは

光は電磁波

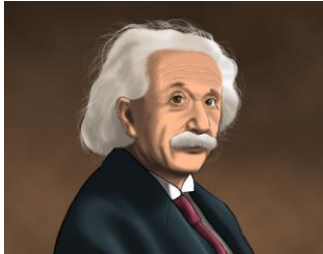
電波:TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$
 $k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV} / \text{K})$

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

量子性が本質的に重要

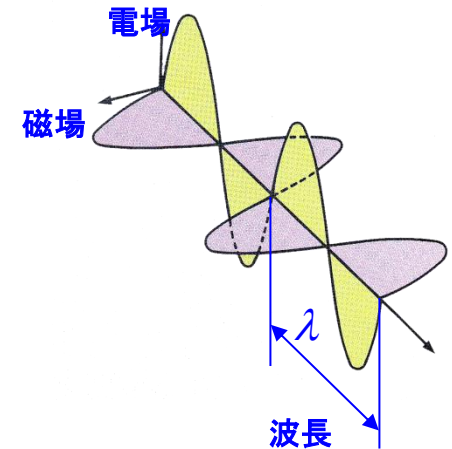
光とは？

光は電磁波

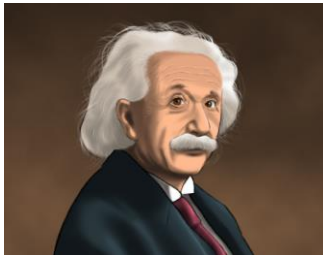
電波:TBS ラジオ
 $f = 954,000\text{Hz}$

光: Sr原子時計
 $f = 429,228,004,229,874\text{Hz}$

超高周波数→大容量



光子(Photon)



アインシュタイン
光量子仮説 (1905)

$$\begin{array}{ll} \text{エネルギー} & E = h\nu \\ \text{運動量} & p = \frac{h\nu}{c} \end{array}$$

可視光 ($400\text{ nm} \sim 750\text{ nm}$)

$h\nu$ ($1.5\text{ eV} \sim 3\text{ eV}$) $\longrightarrow$ 35000 K

熱エネルギー $\sim k_B T$
 $k_B (8.61735 \times 10^{-5} \text{ eV/K})$

常温 300 K

$k_B T \sim 26\text{ meV}$

可視光光子は超高温
光は安定なものを変化させる
(ex. 光化学反応)

量子性が本質的に重要

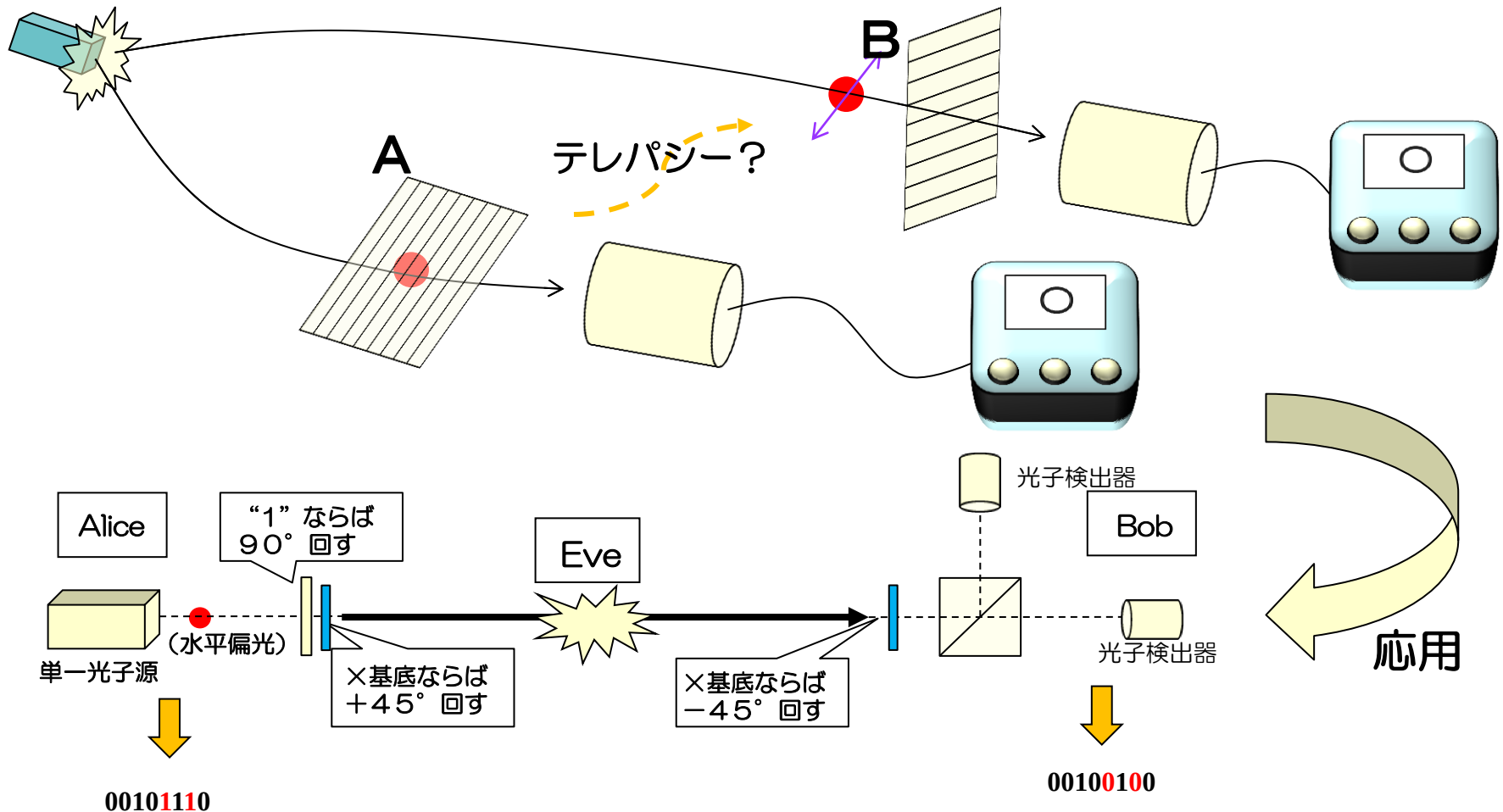


第10回(12/20): 光の正体と量子論の不思議

第11回(1/10): 微弱光を用いた究極の暗号

微かな光の不思議な世界

小芦 雅斗(工学部)



光と人間



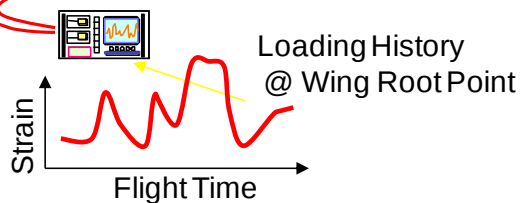
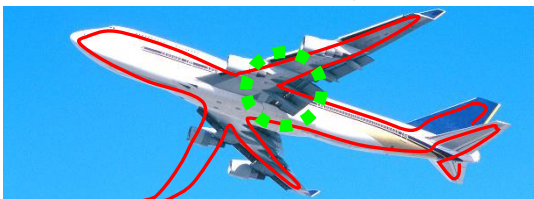
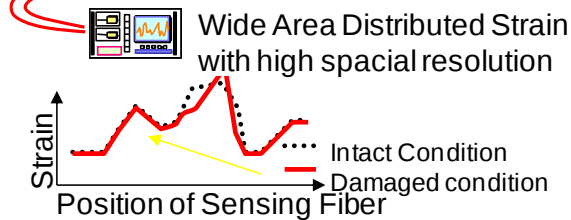
光を導き、活用する
保立 和夫(工学部)



原子から精神まで
小泉 英明(日立製作所)



光のデザイン
石井 幹子
(照明デザイナー)



*
© 2012 Hitachi, Ltd.
Hideaki KOIZUMI

自然な環境下での計測可能

基本的には半導体装置

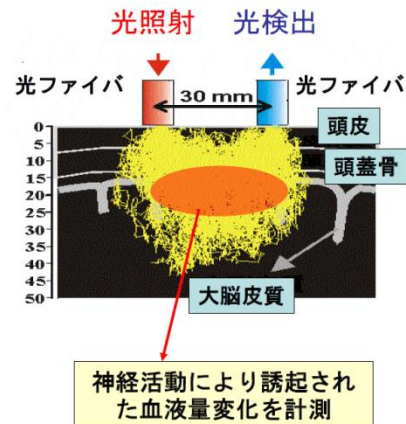


写真: (株)石井幹子デザイン事務所 *

2011年9月9、10日:
ベルリンのブランデンブルク門をライトアップ
するイベントを開催

*
小泉英明ほか(2004)「脳と心を観る:無侵襲高次
脳機能イメージング」『電子情報通信学会誌』第87
巻第3号、207-214、p.210図6 ©2004 IEICE

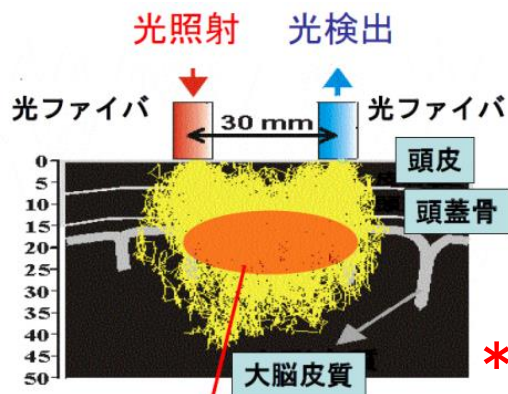


第9回(12/13):ゲスト講演

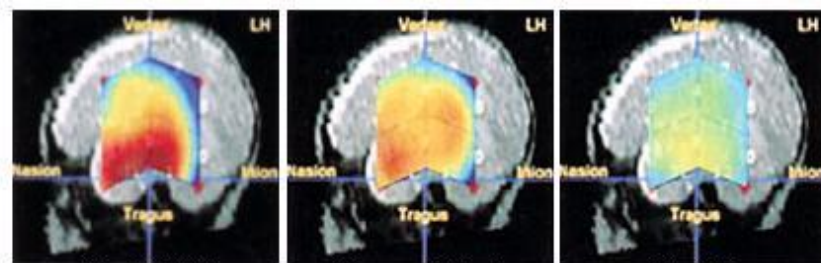
一原子から精神まで

小泉 英明(日立製作所)

光子をプローブとして様々な情報を得る。



神経活動により誘起された
血液量変化を計測



新生児:生後5日以内

母国語:イタリア語

In collaboration with J.Mehler's group, International School for Advanced Studies in Italy, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. (2003)

図像出典: 小泉英明ほか(2004)「脳と心を観る—無侵襲高次脳機能イメージング」『電子情報通信学会誌』第87巻第3号、207-214、p.210図6[スライド中央]; p.212、図8(a)[スライド右]
©2004 IEICE

自然な環境下での計測可能

基本的には半導体装置

第12回(1/17):ゲスト講演

光のデザイン 石井 幹子(照明デザイナー)

A:「思いの強さ」しかありません。



*



*

日独交流150周年、ベルリン五輪75周年を記念して2011年9月9、10日にベルリンのブランデンブルク門をライトアップするイベントを開催

Q:利害関係者を動かして実現に向かわせることは多大な労力があると思うが、その情熱はどう作り出しているのか？



*



*

Outline

1. 俯瞰講義をふりかえる

2. 虹

3. 疑問質問コーナー

ミニッツレポートから

4. 光技術のこれから

微小球に光を閉じ込める

レーザー技術の革新と光技術

虹

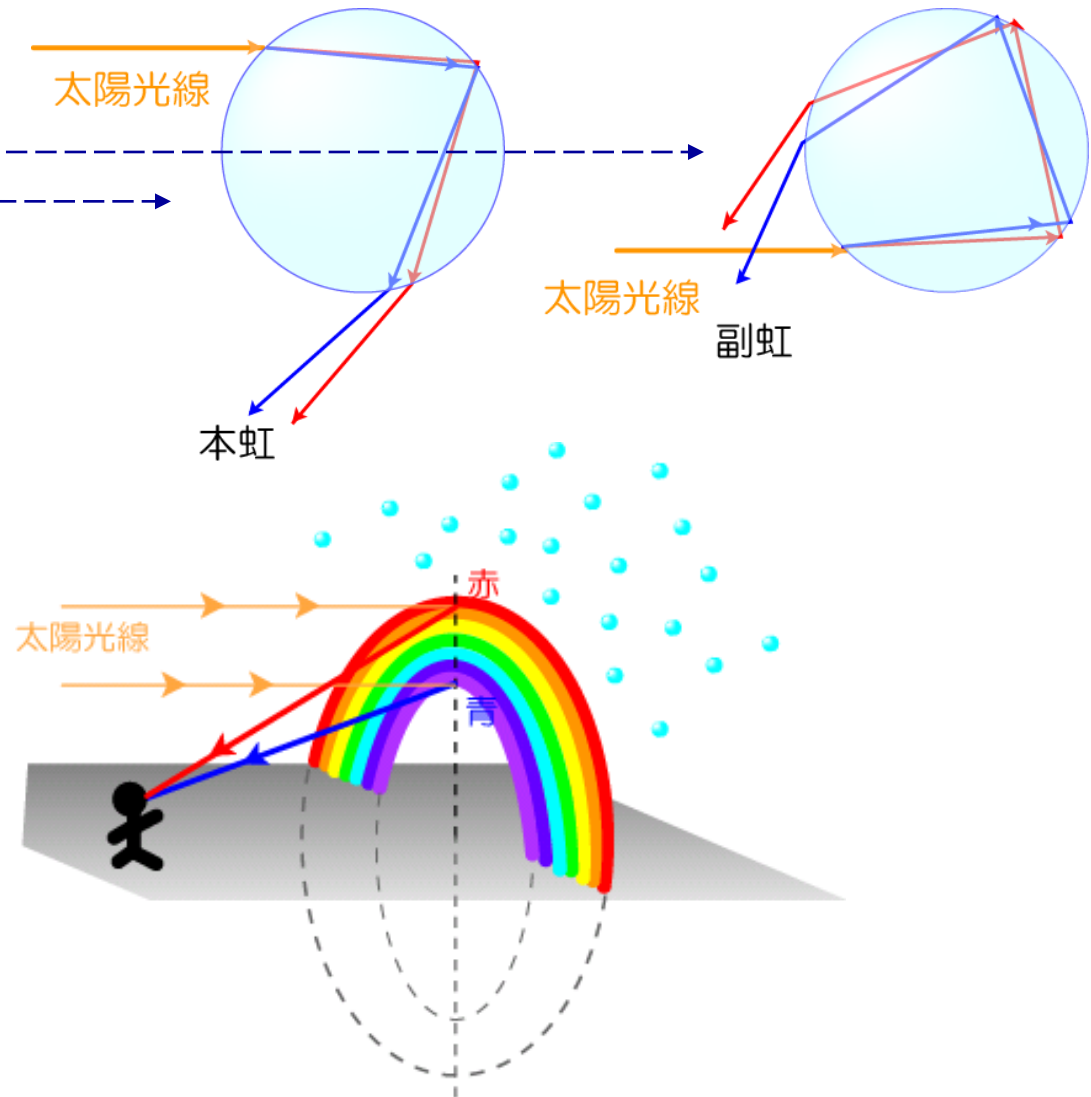


* 山梨大学 堀裕和氏撮影、ご提供

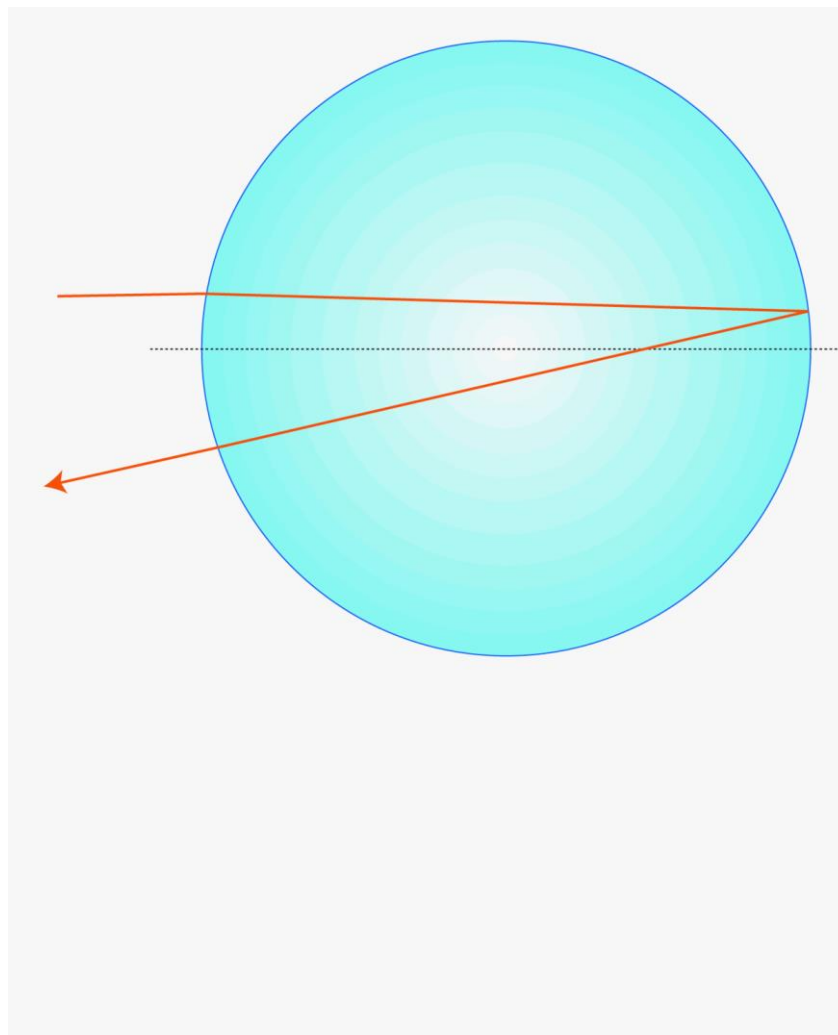
虹の原理



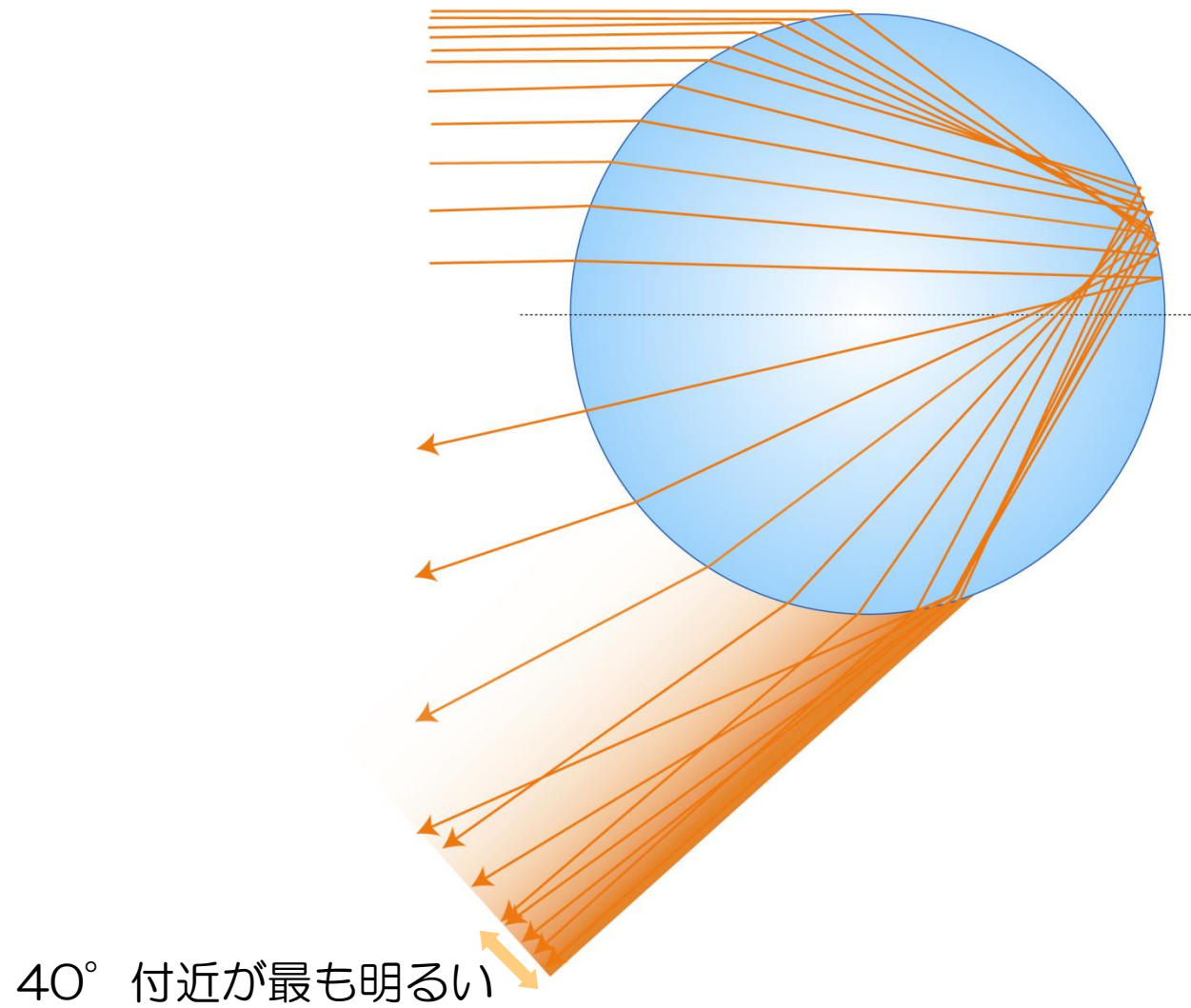
* 山梨大学 堀裕和氏撮影、ご提供



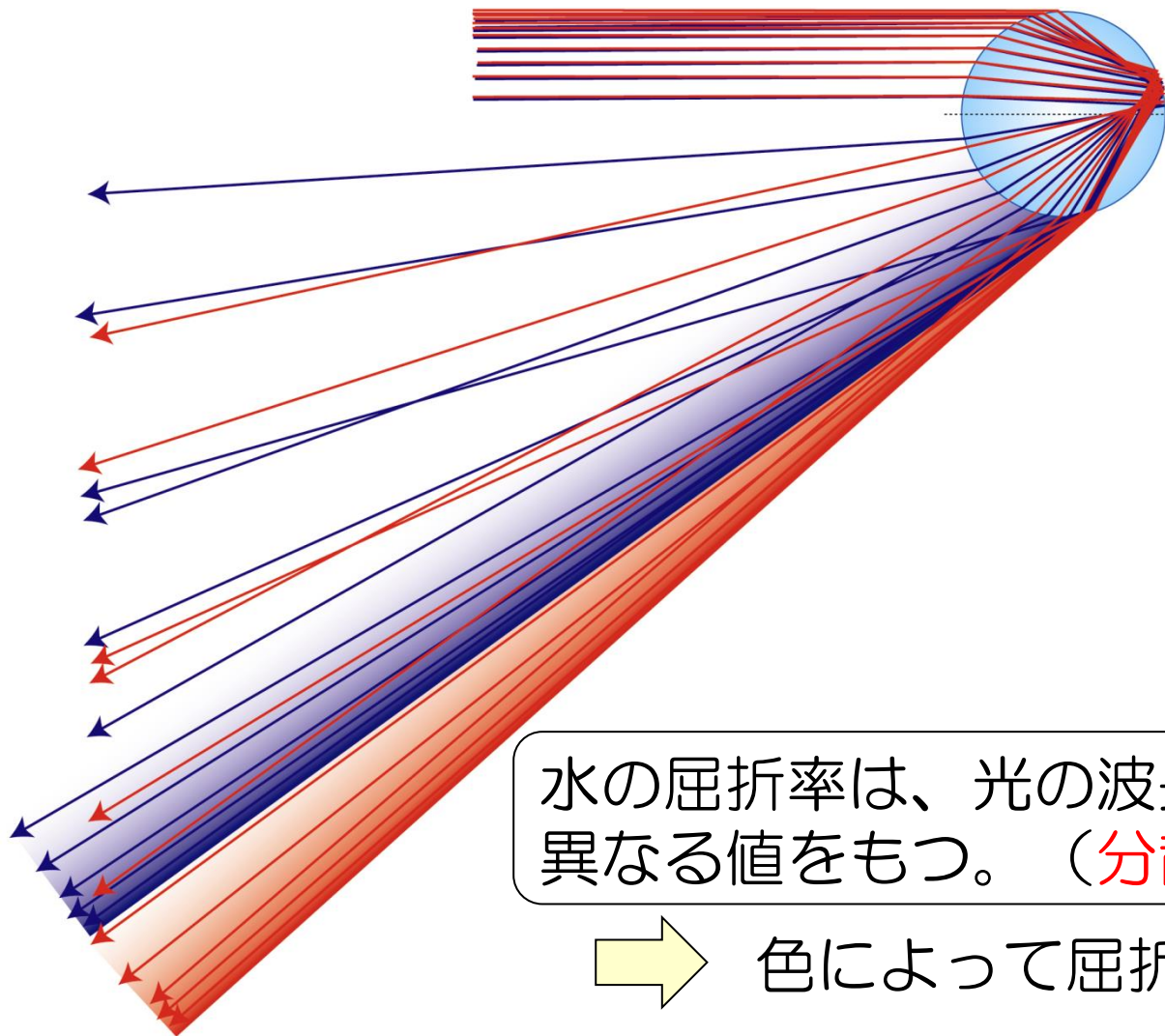
虹の原理



虹の原理



虹の原理



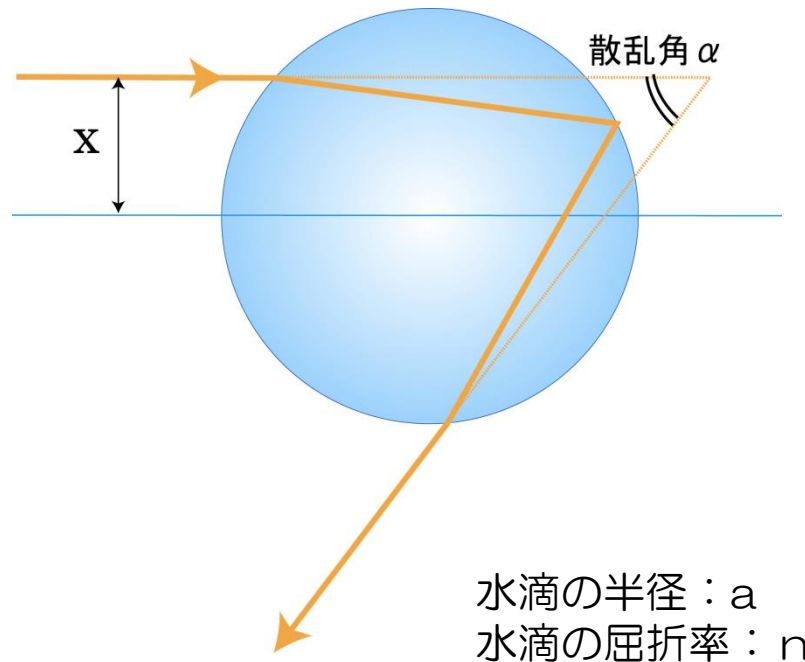
水の屈折率は、光の波長によって異なる値をもつ。（分散現象）

→ 色によって屈折角が異なる

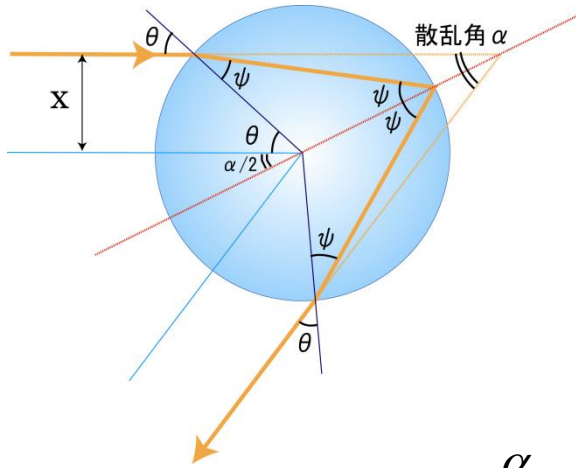
考えてみよう！

問い：虹の散乱角の計算

屈折率 n の水滴に右図のように光線が入射するとき、散乱角 α を求めよ。



こたえ



入射光強度を $I(x)$ 、
出射光強度を $S(\alpha)$ とすると、

$$S(\alpha) |\Delta\alpha| \approx I(x) |\Delta x|$$

$$\therefore S(\alpha) \approx I(x) \left| \frac{\Delta x}{\Delta\alpha} \right| = I(x) \left| \left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \right)^{-1} \right|$$

$I(x) = \text{const}$ とすれば

$$S(\alpha) \propto \left| \left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \right)^{-1} \right|$$

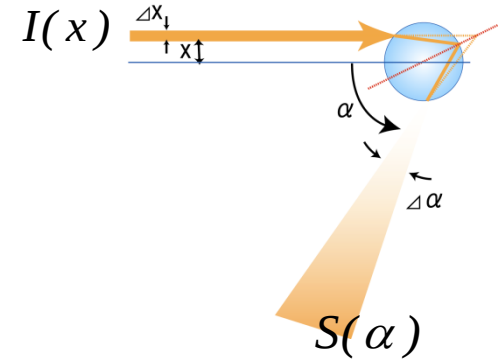
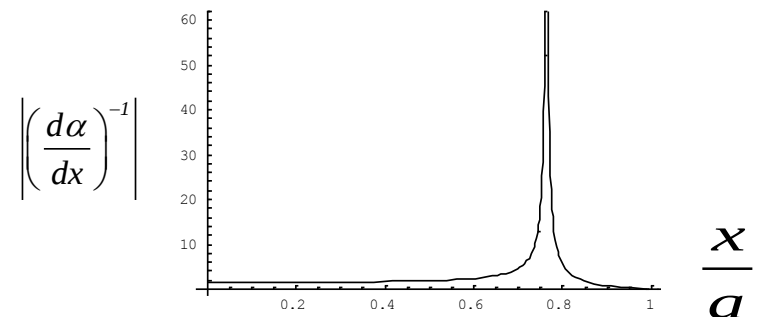
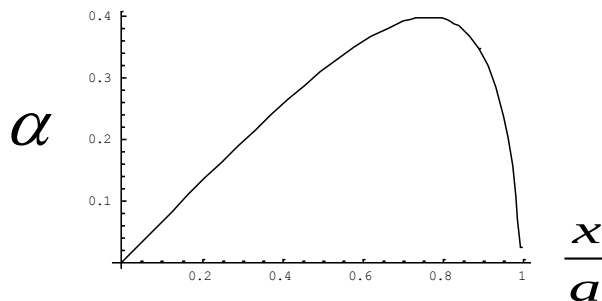
$$\sin \theta = n \sin \varphi, \quad 2\varphi = \theta + \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \alpha = 4\varphi - 2\theta$$

$$\frac{x}{a} = \sin \theta$$

$$\alpha = 4 \sin^{-1} \left(\frac{x}{na} \right) - 2 \sin^{-1} \left(\frac{x}{a} \right)$$

$n=1.5$ の場合



Outline

1. 俯瞰講義をふりかえる
2. 虹
3. 疑問質問コーナー
ミニッツレポートから
4. 光技術のこれから
微小球に光を閉じ込める
レーザー技術の革新と光技術

Outline

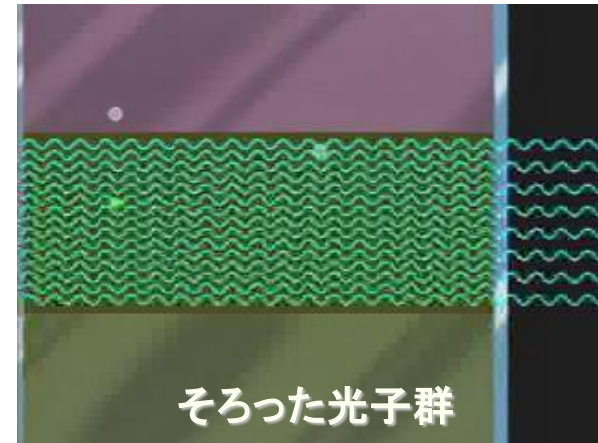
1. 俯瞰講義をふりかえる
2. 虹
3. 疑問質問コーナー
ミニッツレポートから
4. 光技術のこれから
微小球に光を閉じ込める
レーザー技術の革新と光技術

レーザーの向こうに何があるか？

レーザー

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (1960)

強度大



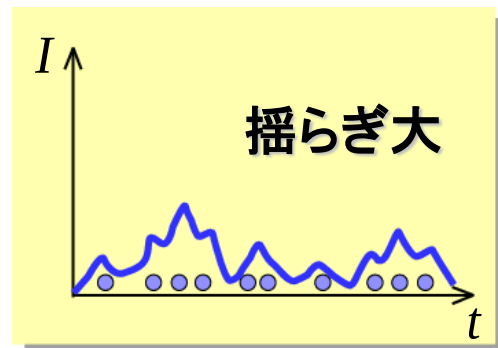
*

ERATO五神協同励起プロジェクト(H9-H14)
「光で揃う量子たち」
提供：科学技術振興機構(JST)



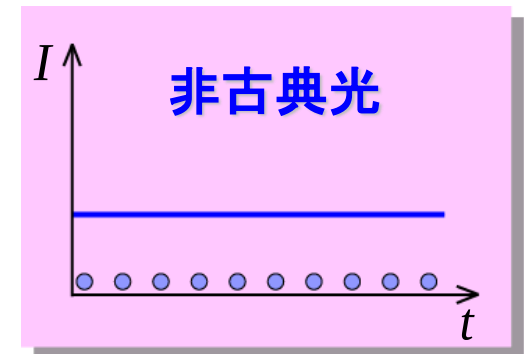
$$\sqrt{N} / N \ll 1$$

極微弱



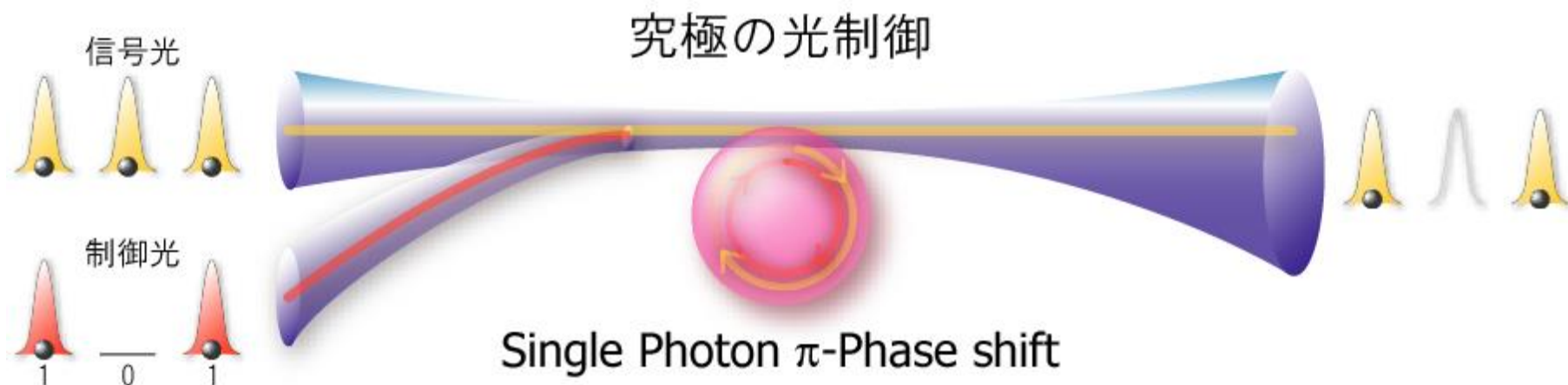
$$\sqrt{N} / N \sim 1$$

微小光共振器
＋非調和媒質
による制御



究極の光制御

—つ—つの光子を操るには何が必要か？



安定な極微弱光源
量子ノイズ除去

光閉じ込め
微小光共振器

高非線形光学材料
光子間相互作用の増強

セントポール大聖堂：ささやきの回廊

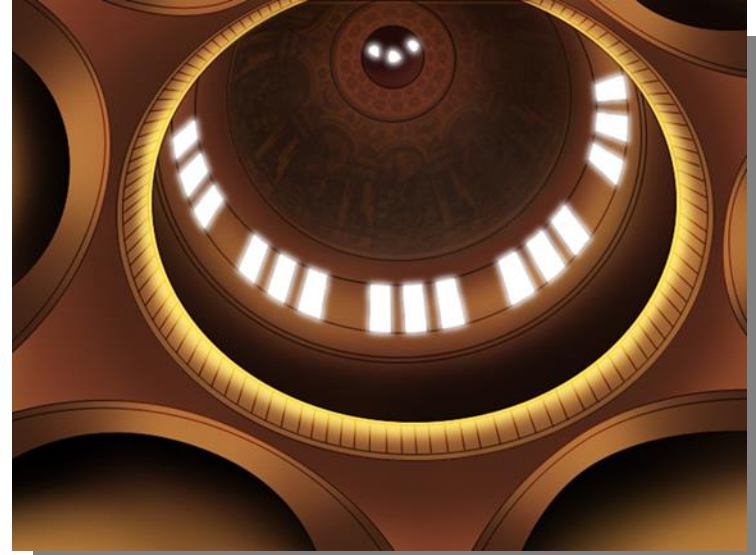
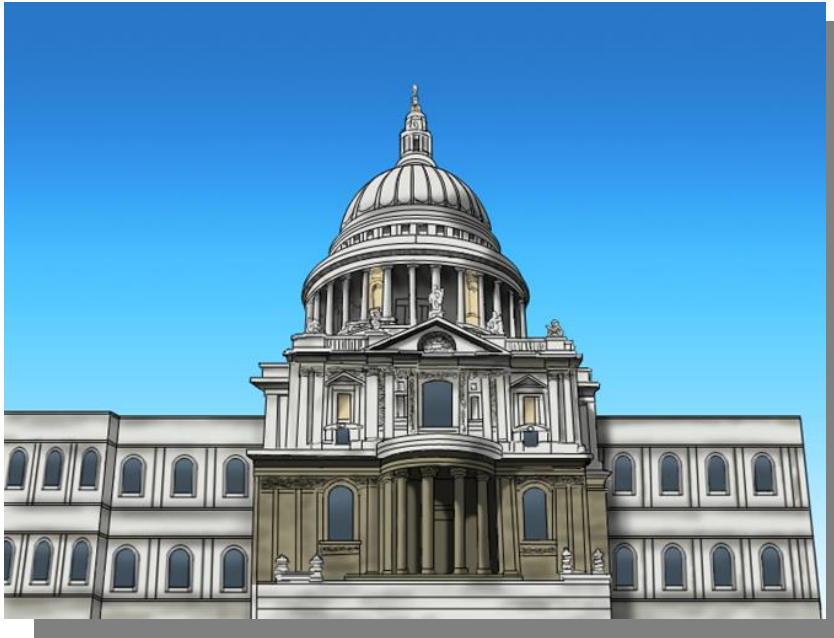


Photo by Femtoquake (Wikipediaより転載)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:St_Paul's_Cathedral_Whispering_Gallery.jpg

CC BY SA 3.0

ロードレイリー

by Lord Rayleigh

1910年

348.

THE PROBLEM OF THE WHISPERING GALLERY.

[*Philosophical Magazine*, Vol. xx. pp. 1001—1004, 1910.]

THE phenomena of the whispering gallery, of which there is a good and accessible example in St Paul's cathedral, indicate that sonorous vibrations have a tendency to cling to a concave surface. They may be reproduced upon a moderate scale by the use of sounds of very high pitch (wave-length = 2 cm.), such as are excited by a bird-call, the percipient being a high pressure sensitive flame*. Especially remarkable is the narrowness of the obstacle, held close to the concave surface, which is competent to intercept most of the effect.

The explanation is not difficult to understand in a general way, and in *Theory of Sound*, § 287, I have given a calculation based upon the methods employed in geometrical optics. I have often wished to illustrate the matter further on distinctively wave principles, but only recently have recognized that most of what I sought lay as it were under my nose. The mathematical solution in question is well known and very simple in form, although the reduction to numbers, in the special circumstances, presents certain difficulties.

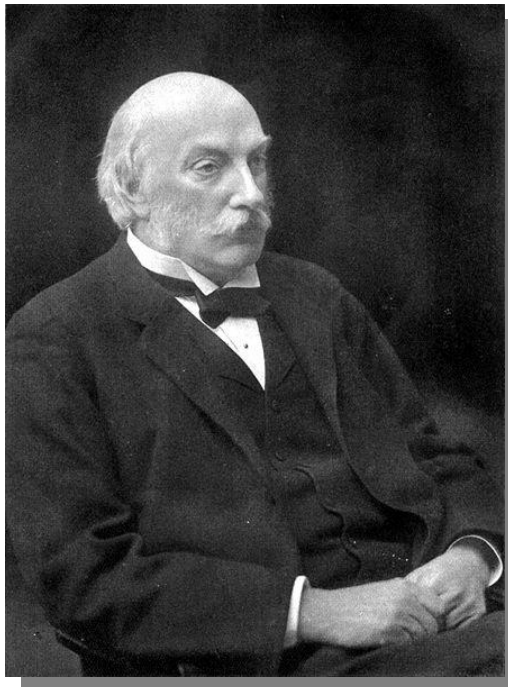
Consider the expression in plane polar coordinates (r, θ)

$$\psi_n = J_n(kr) \cos(ka\theta - nt), \dots\dots\dots(1)$$

applicable to sound in two dimensions, ψ denoting velocity-potential; or again to the transverse vibrations of a stretched membrane, in which case ψ represents the displacement at any point†. Here a denotes the velocity of propagation, $k = 2\pi/\lambda$, where λ is the wave-length of straight waves of the given frequency, n is any integer, and J_n is the Bessel's function usually so denoted. The waves travel circumferentially, everything being reproduced when θ and t receive suitable proportional increments. For the present purpose we suppose that there are a large number of waves round the circumference, so that n is great.

* *Proc. Roy. Inst.* Jan. 15, 1904. [*Scientific Papers*, Vol. v. p. 171.]

† *Theory of Sound*, §§ 201, 229. [1911. Electrical vibrations in two dimensions are also included, if the reflecting wall be supposed perfectly conducting. When the electrical vibrations are perpendicular to the plane, the analogy is with the membrane; when they are performed in the plane, they are analogous to the aerial vibrations. (See Vol. iv. p. 205.)]

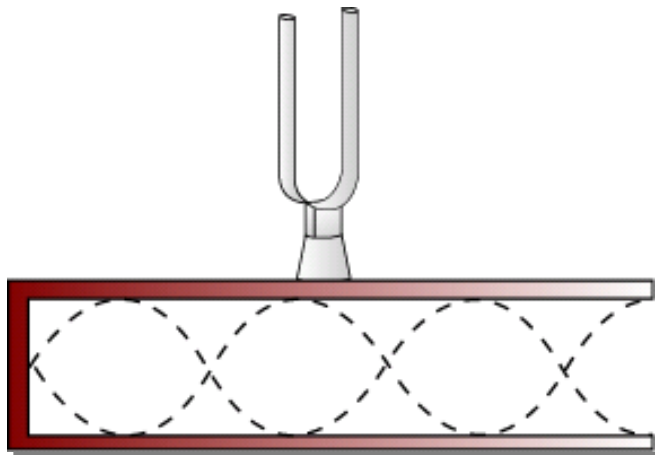
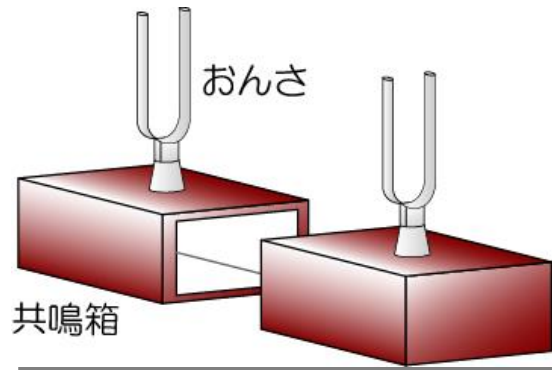


ジョン・ウィリアム・ストラット
(John William Strutt、第三代レイリー男爵
通称：レイリー卿)

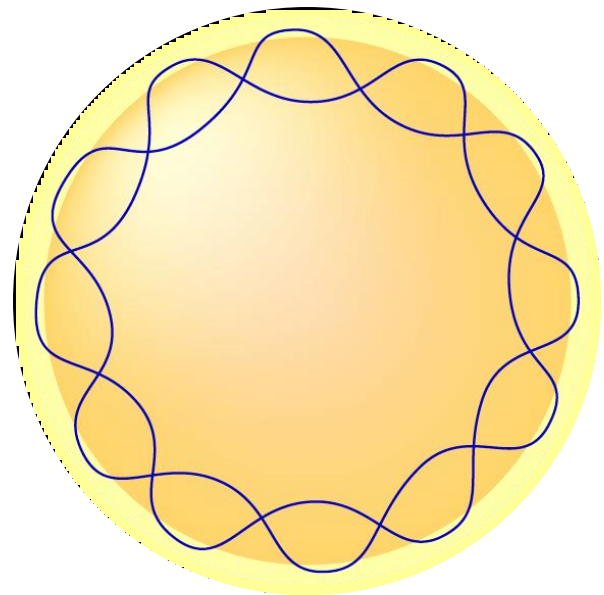


音波の共鳴

● おんさの共鳴

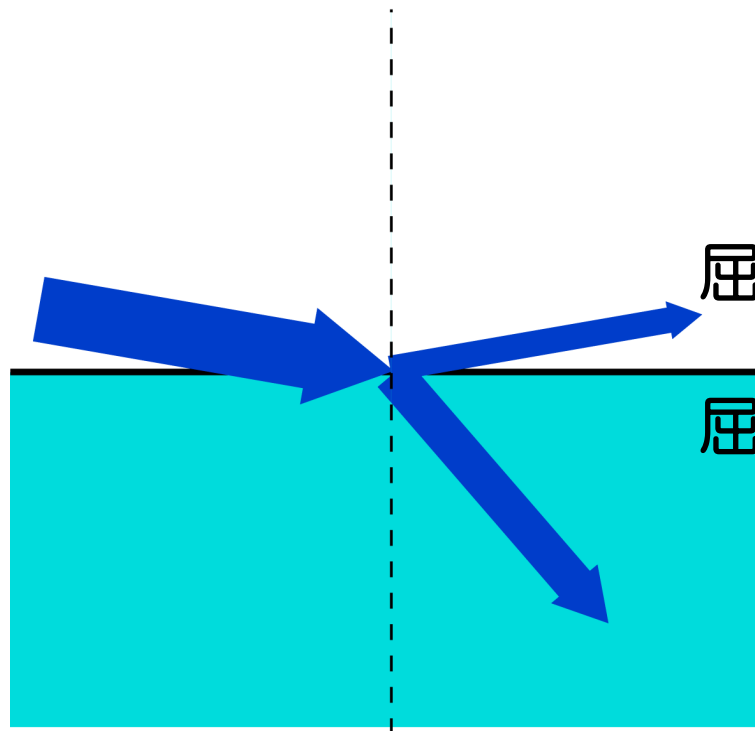


囁きの回廊
Whispering Gallery

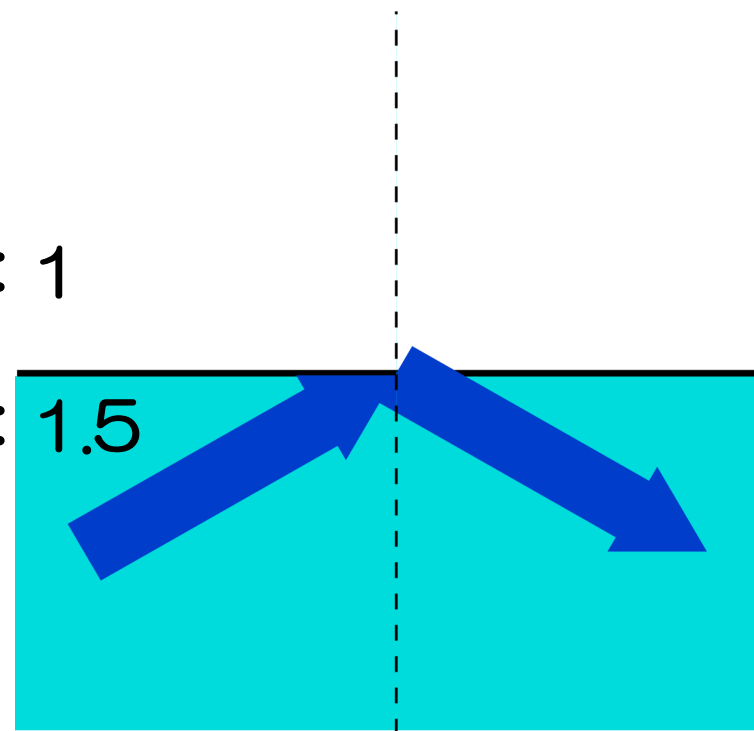


光の反射と屈折全反射

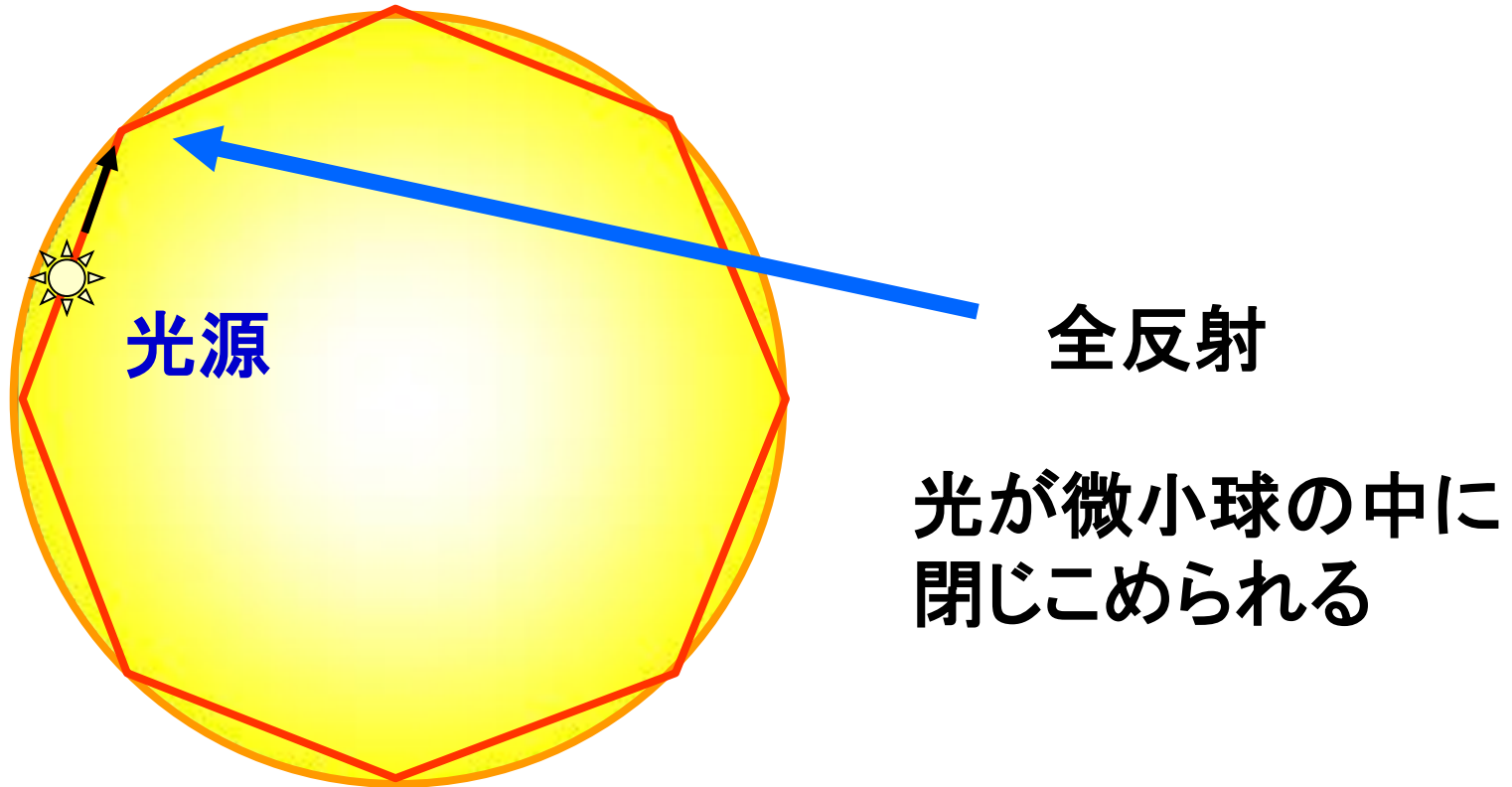
● 全反射が生じない場合



● 全反射が生じる場合

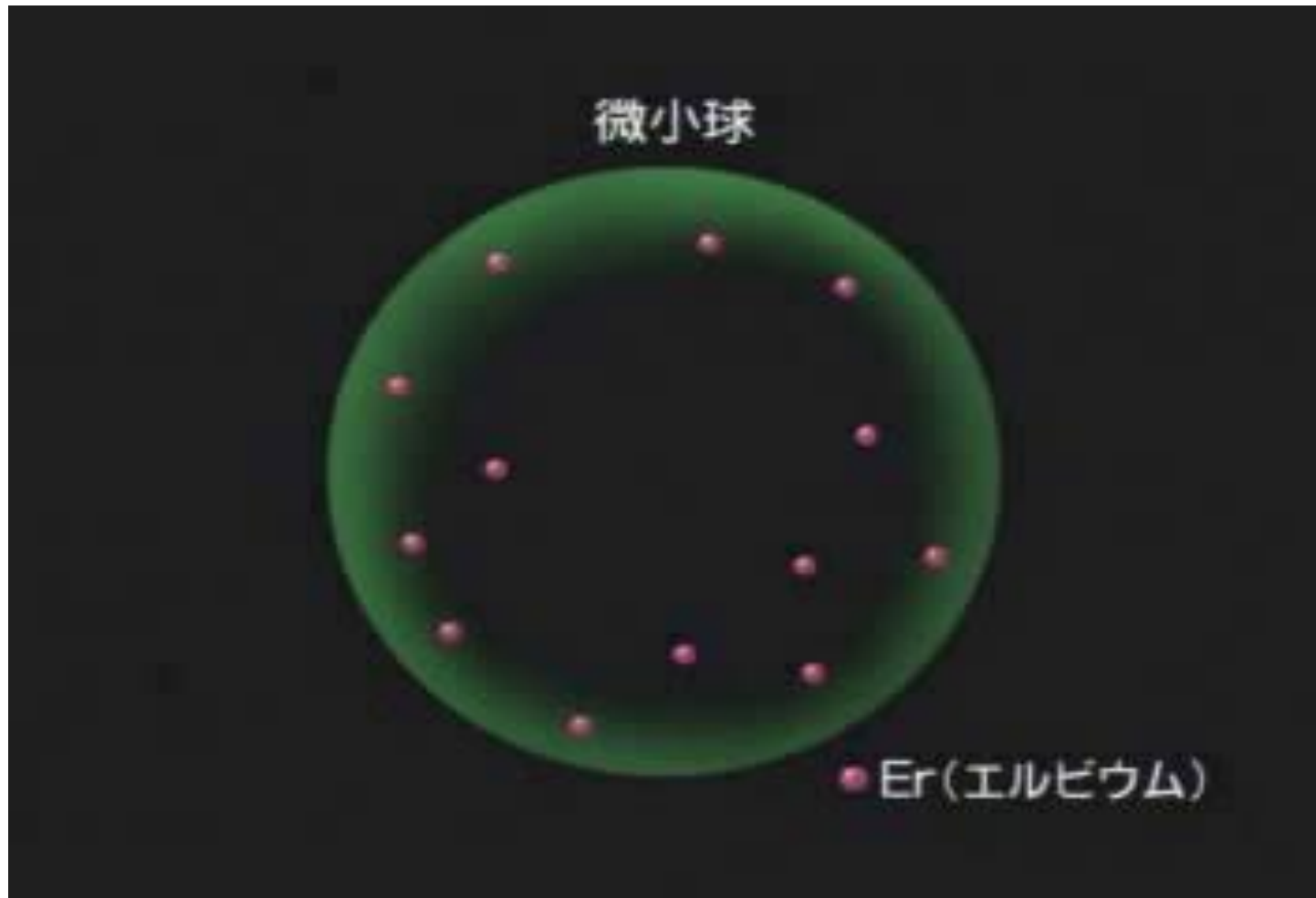


微小球に光をとじこめる



音波(波長1メートル)ささやきの回廊(直径30メートル)
光(波長0.5ミクロン)微小球(直径数ミクロン)

微小球に光を閉じ込める



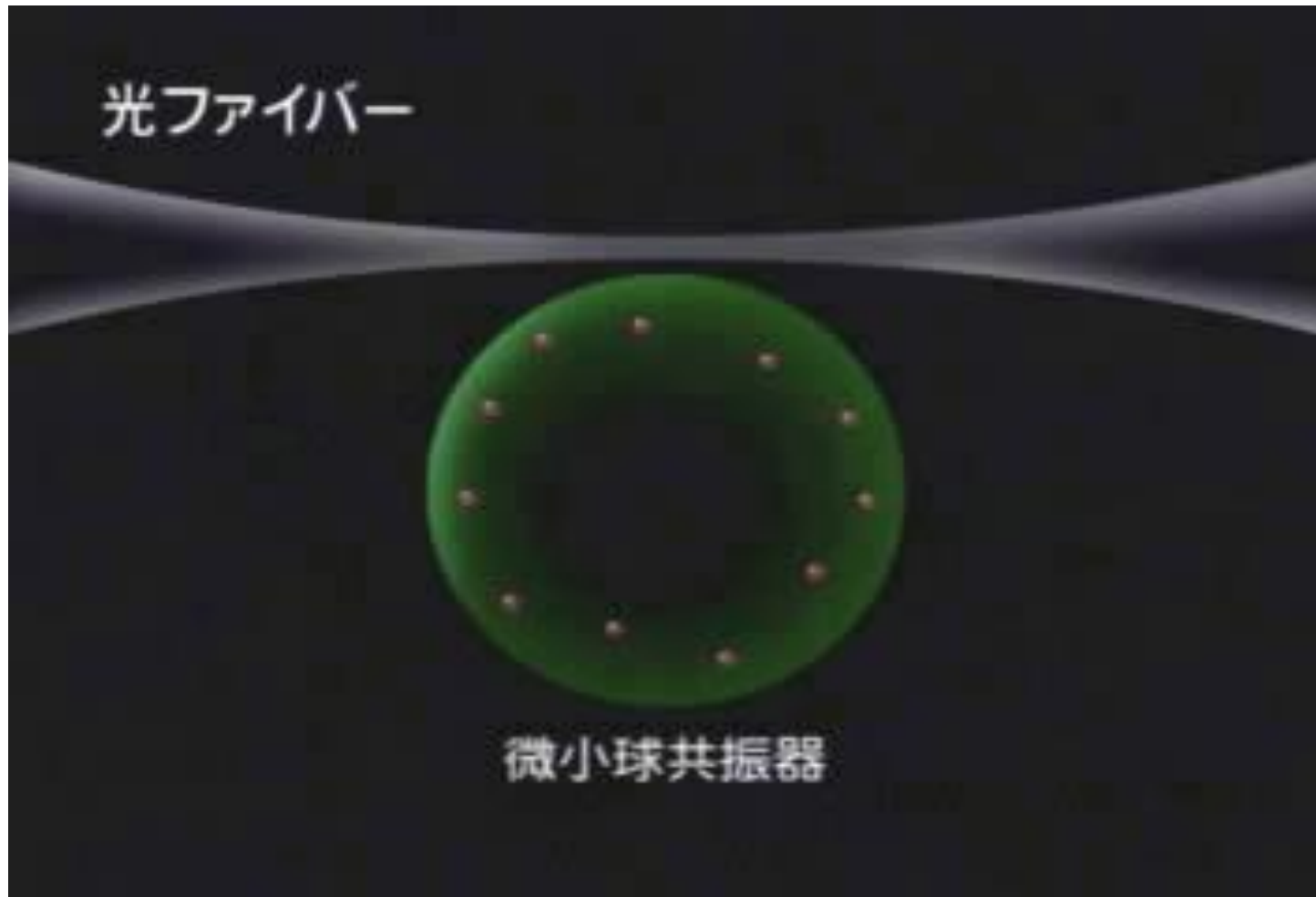
*

ERATO五神協同励起プロジェクト(H9-H14)

「光で揃う量子たち」

提供: 科学技術振興機構(JST)

微小球に光を閉じ込める



*

ERATO五神協同励起プロジェクト(H9-H14)
「光で揃う量子たち」
提供: 科学技術振興機構(JST)

微小球に光を閉じ込める



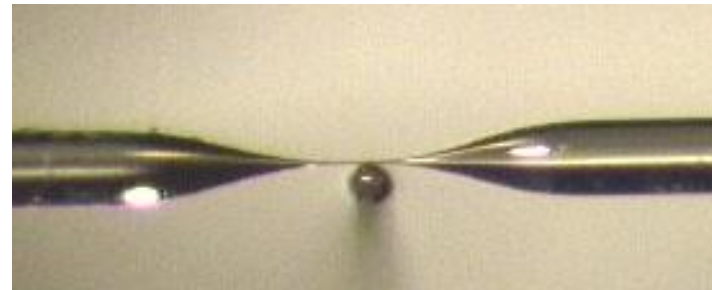
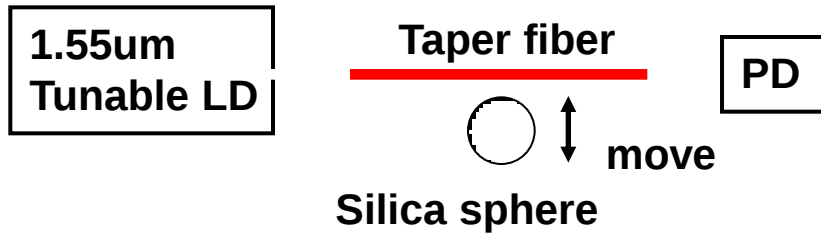
*

ERATO五神協同励起プロジェクト(H9-H14)

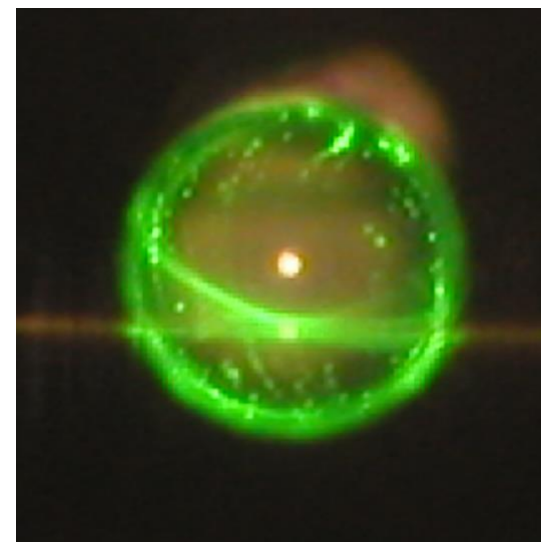
「光で揃う量子たち」

提供: 科学技術振興機構(JST)

光ファイバーと微小球の結合



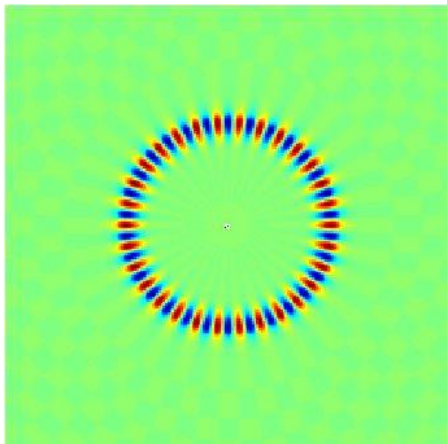
Taper fiber and 80micron-sphere



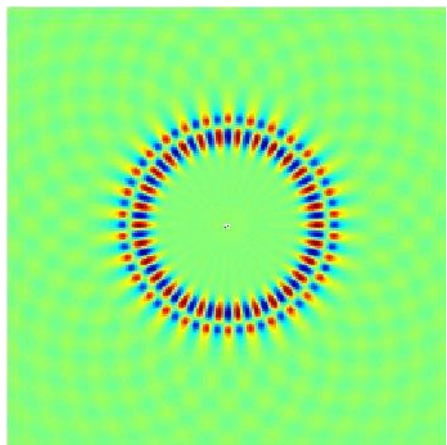
Fluorescence of Er-doped glass sphere

微小球に光波を閉じ込める

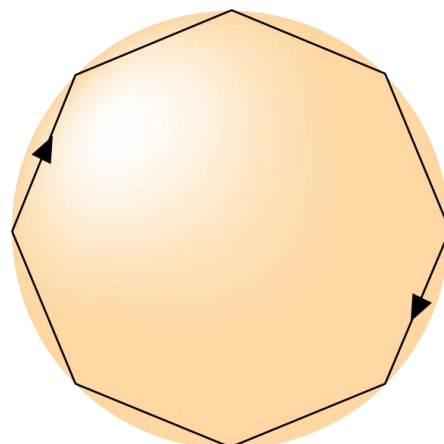
波動光学



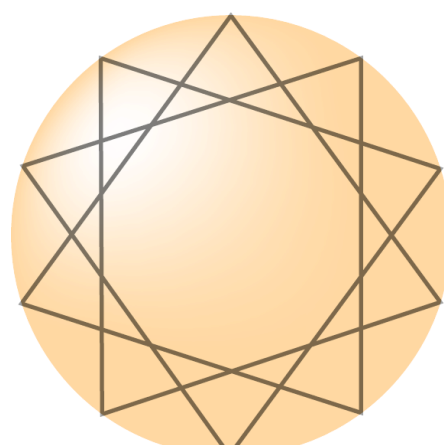
s (Order Number)



幾何光学



($n=5$, $s=3$)



導波路と微小球の結合

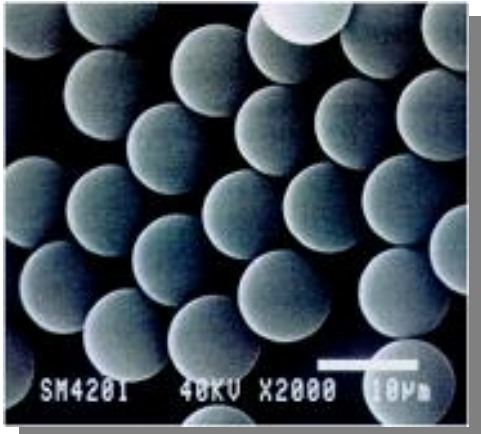
共鳴状態
波長：0.99448 μm



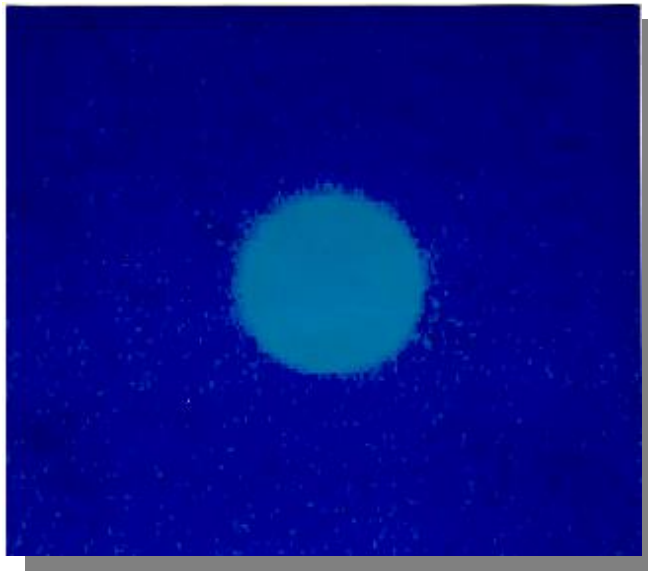
非共鳴状態
波長：0.97384 μm



ポリマー微小球（レーザー発振）

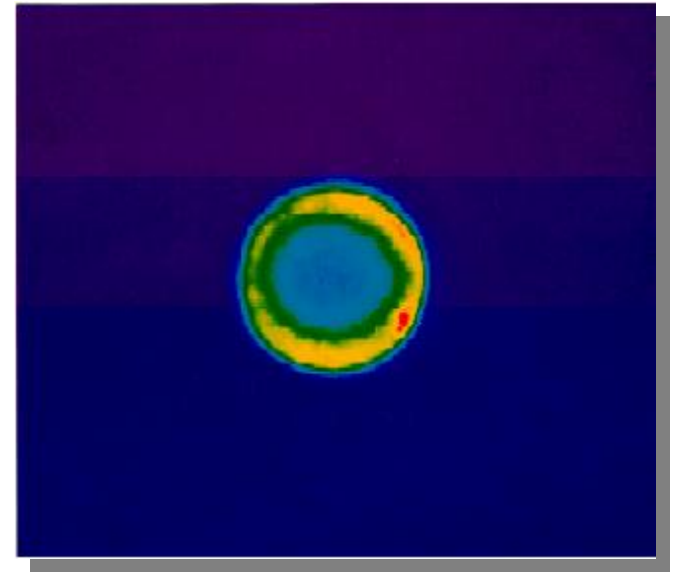


$$P < P_{th}$$



50 μm

$$P > P_{th}$$



ナノスケールでサイズを揃えて並べる

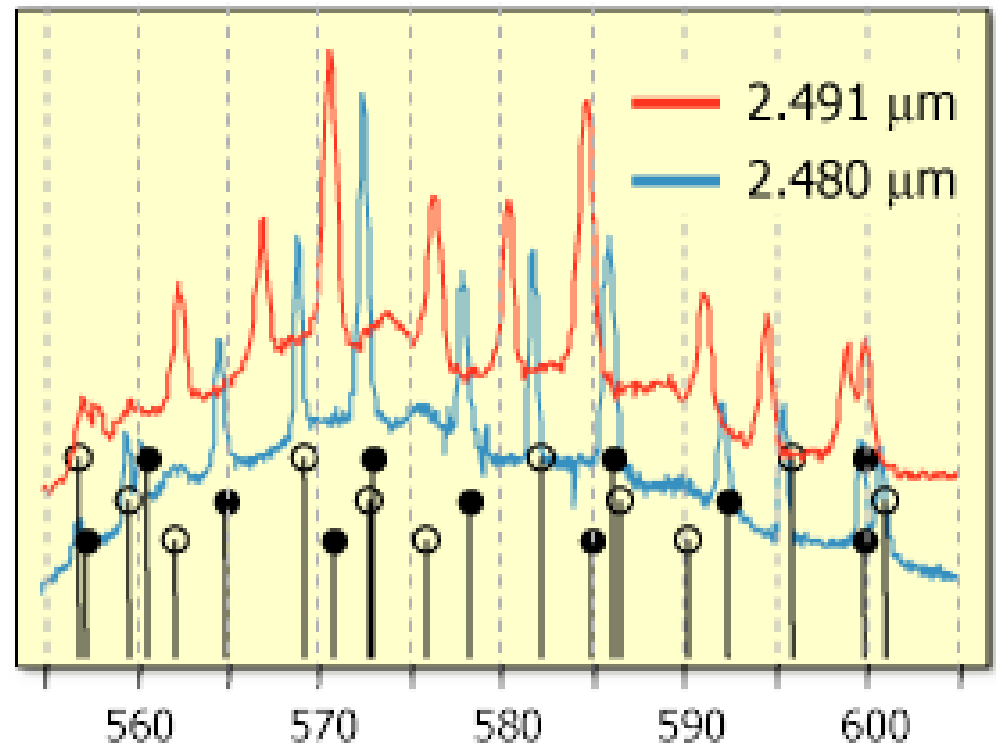


色素ドーブ

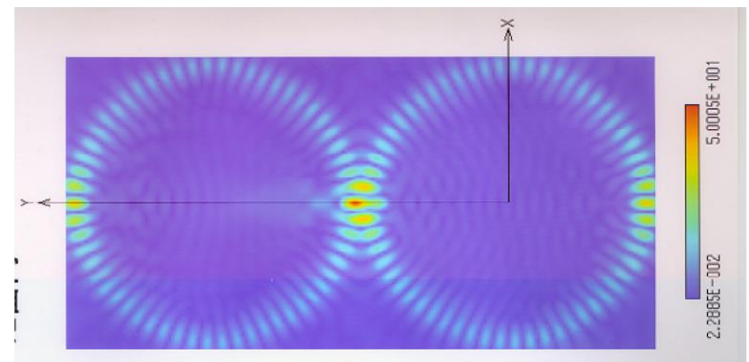
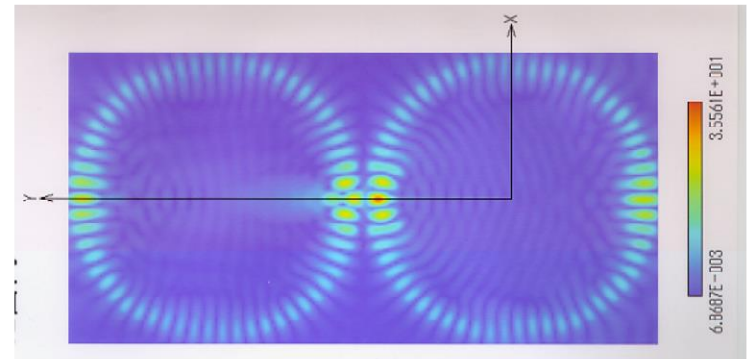
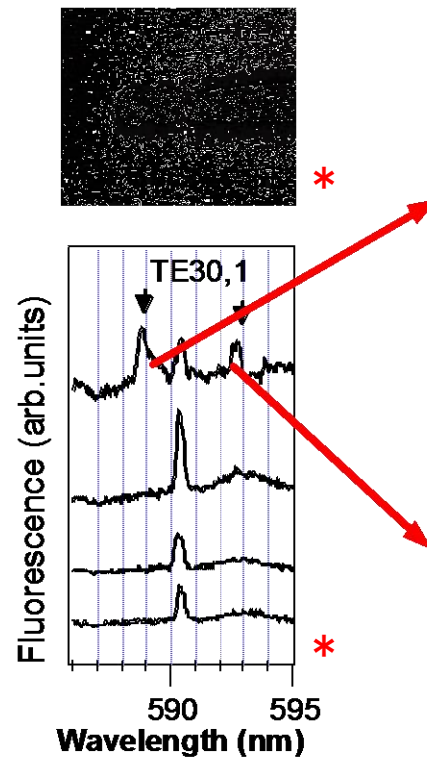
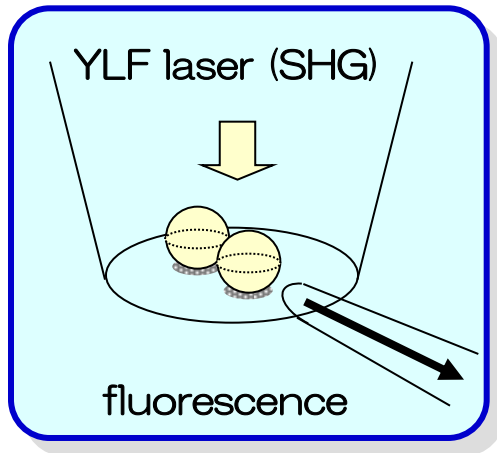
$Q \sim 10^3$

ポリエチレン球

蛍光スペクトル中のピークから球径を算出

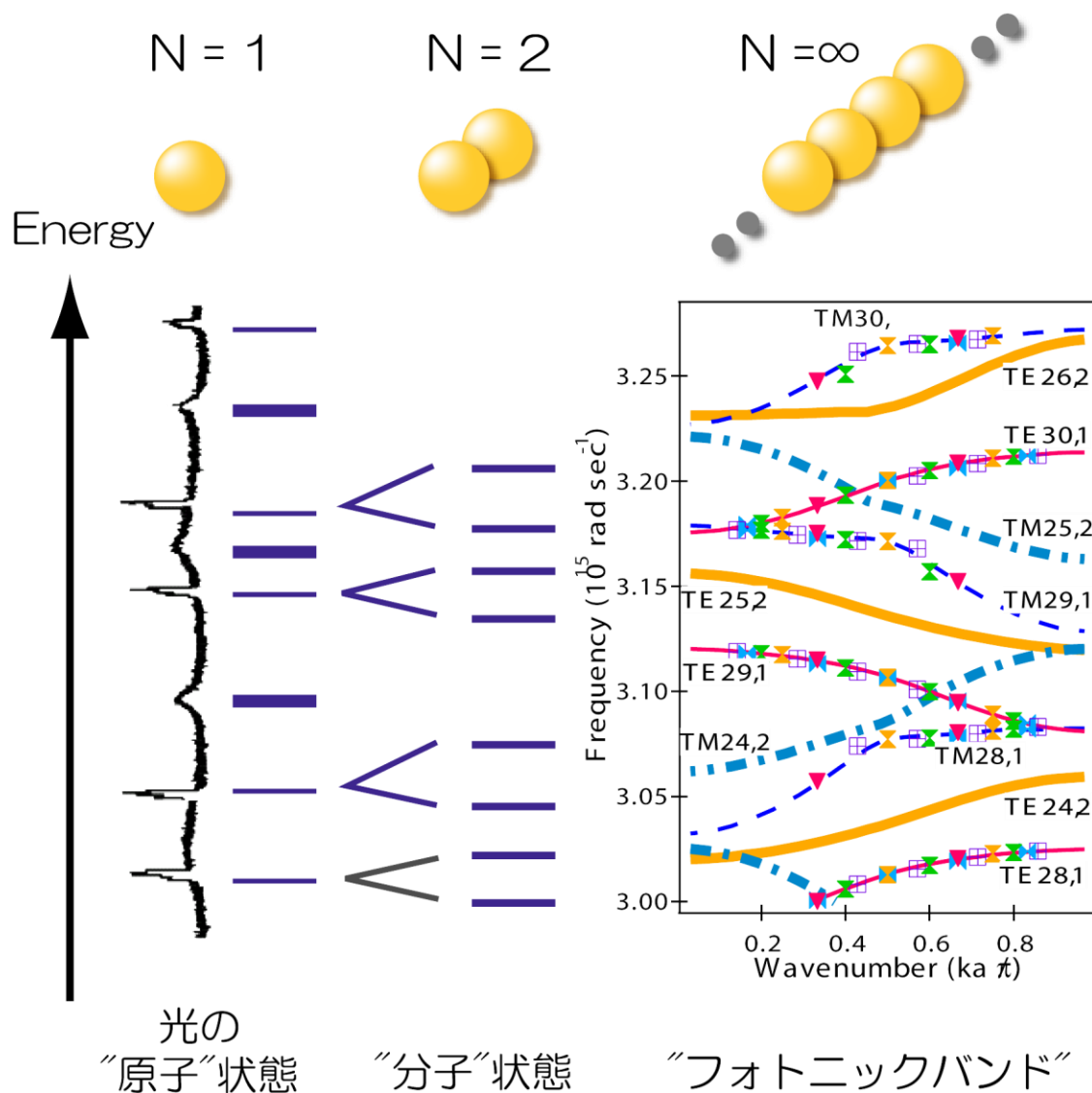


2つの球を繋げる



T. Mukaiyama, K. Takeda, H. Miyazaki, Y. Jimba, and M. Kuwata-Gonokami (1999) Tight-Binding Photonic Molecule Modes of Resonant Bispheres, *Physical Review Letters* 82(23):4623-4626, p.4624 Fig.2(a)(A) and Fig.2(b).

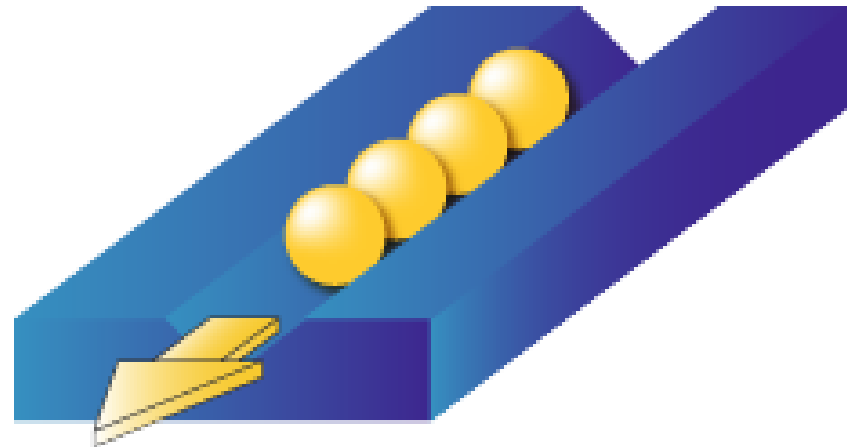
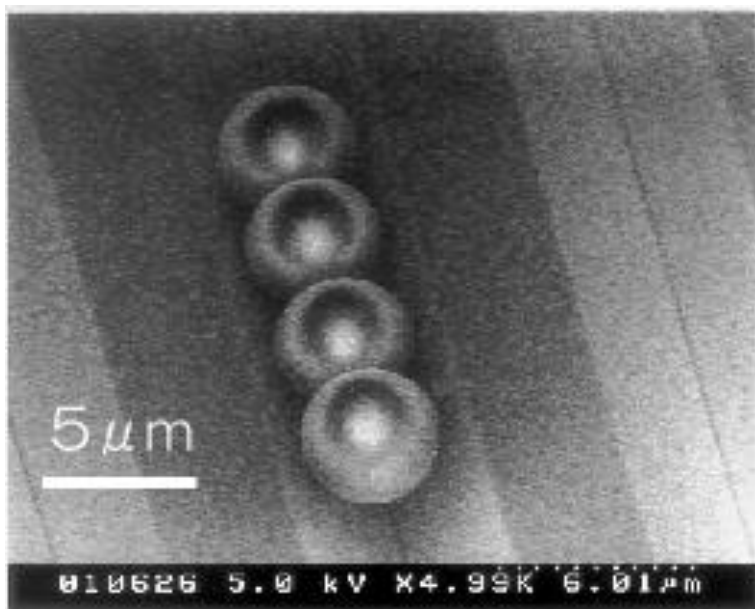
微小球をつなげる：光の原子から分子、結晶へ



*

Yoshiko Hara, Takashi Mukaiyama, Kenji Takeda, and Makoto Kuwata-Gonokami(2005) Heavy Photon States in Photonic Chains of Resonantly Coupled Cavities with Supermonodispersive Microspheres, *Physical Review Letters* 94, 203905, Fig.2.

フォトニック原子からフォトニックバンドへ

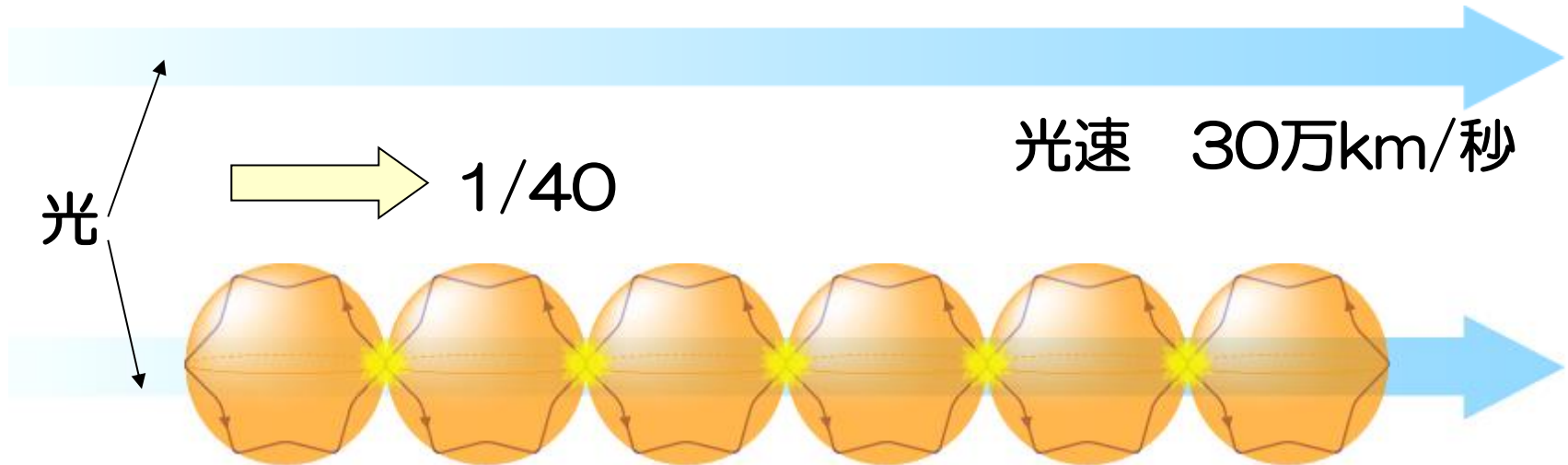


*

シリコンV溝上の連結微小球 SEM image

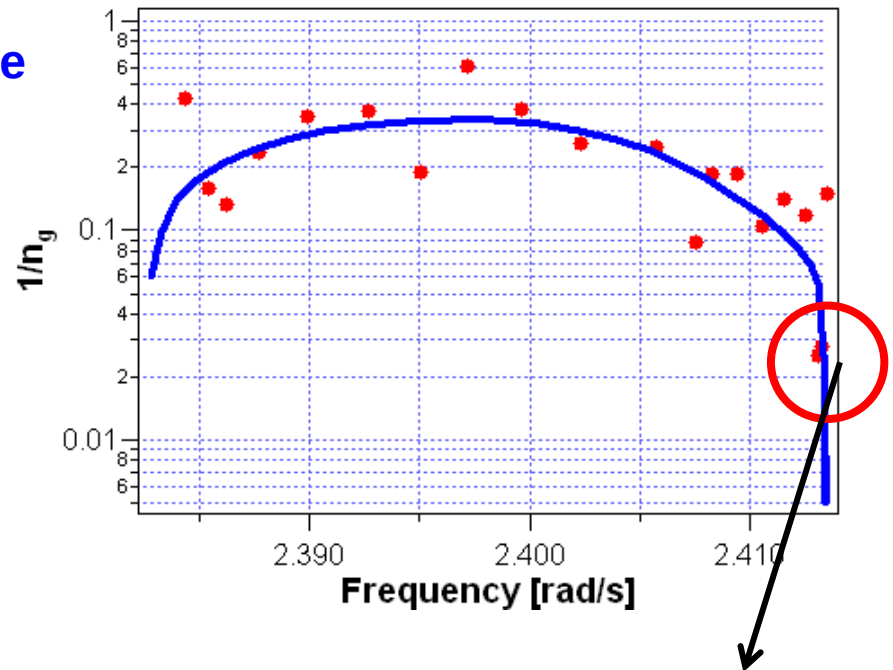
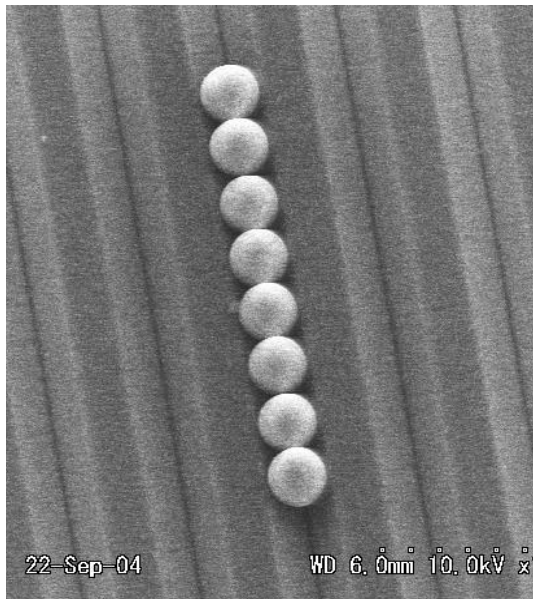
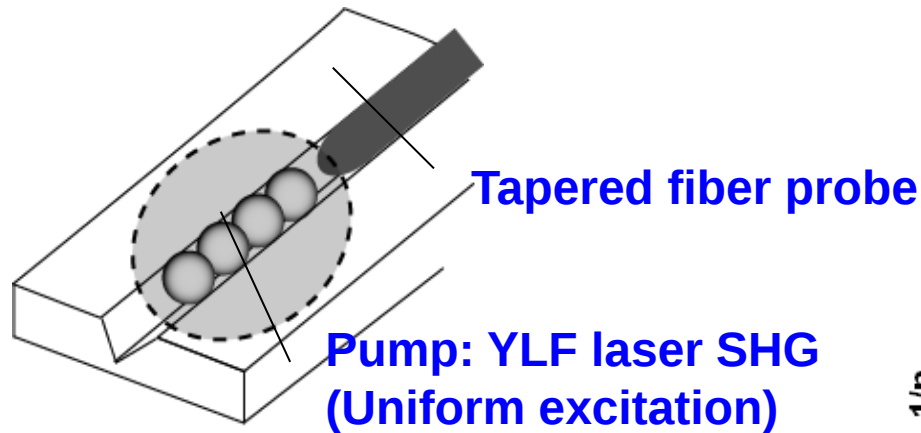
Yoshiko Hara, Takashi Mukaiyama, Kenji Takeda, and Makoto Kuwata-Gonokami (2005) Heavy Photon States in Photonic Chains of Resonantly Coupled Cavities with Supermonodisperse Microspheres, *Physical Review Letters* 94, 203905, Fig.1.

光のスピードをコントロールする



光は球の中で何周も回ってから次の球へ移る

Photonic band modes of 1D- array of resonant spheres



伝わる速度 7500 km/秒

Outline

1. 俯瞰講義をふりかえる
2. 虹
3. 疑問質問コーナー
ミニッツレポートから
4. 光技術のこれから
微小球に光を閉じ込める
レーザー技術の革新と光技術

レーザー技術の革新

- 1960 レーザーの発明



©University of California, Lawrence Berkeley National Laboratory
<http://lbl.webdamdb.com/viewphoto.php?imageId=4673851>

- 1981 衝突パルスモード同期
(ピコからフェムトへ)

- 1991 チタンサファイア マジックモード同期

- 1991 **カーレンズモード同期** (国内第1号機も同年)

- 1991 チタンサファイアCPA 再生増幅

- 1997 LD励起ポンプ源への移行
→ 低ノイズ化

- 2000 **モード同期レーザーのCEP制御**、
周波数コム技術 (2005ノーベル物理学賞)

- 2002 モード同期ファイバーレーザーのCEP制御

- 2003 受動共振器による線形加算増幅

Chirped Pulse Amplification



1983年:
スターウォーズ計画SDI



U.S. Government *

1989年冷戦終結



US DOD, SSGT F. Lee Corkran



Wikimedia Commons



CC BY-SA 3.0
Wikimedia Commons
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theodor_W_Haensch.jpg?uselang=ja



*

U.S. Government

THE WHITE HOUSE
WASHINGTON

May 12, 2010

I am pleased to join all those celebrating the 50th anniversary of the development of the world's first working laser.

The story of the development of the laser is a quintessentially American one, of intensely creative theoretical work, followed by innovative engineering, and a spectacular diversity of applications that have brought economic benefits unimagined at the start of the process. Only 50 years ago, lasers were labeled "a solution in search of a problem," with no practical application envisioned outside basic scientific research. Today, lasers have revolutionized the way we live—from watching our favorite movies on DVD players to surfing the web to scanning barcodes at the grocery store.

I commend the many American scientists and engineers whose ingenuity and contributions to laser science and technology have helped make the laser one of the most important and versatile inventions of the 20th century. Such achievements inspire the next generation of students and tinkerers to pursue careers as scientists and engineers, and to keep the pipeline of American innovation flowing well into the future.

On behalf of our Nation, I celebrate with you this important technological milestone. I look forward with real excitement to further advances in this field and new applications as yet undreamed of today.

A handwritten signature in black ink, which appears to be "Barack Obama".

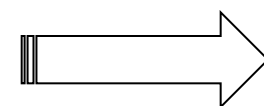
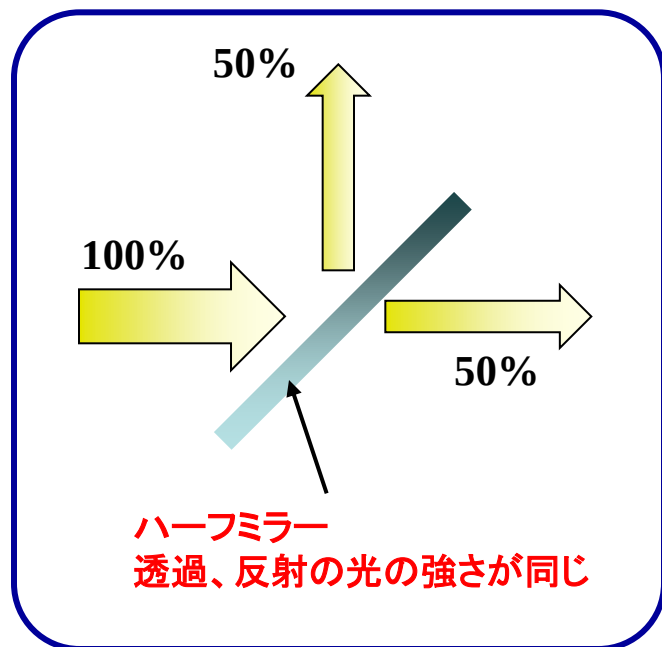
* U.S. Government

半導体レーザー技術の進展

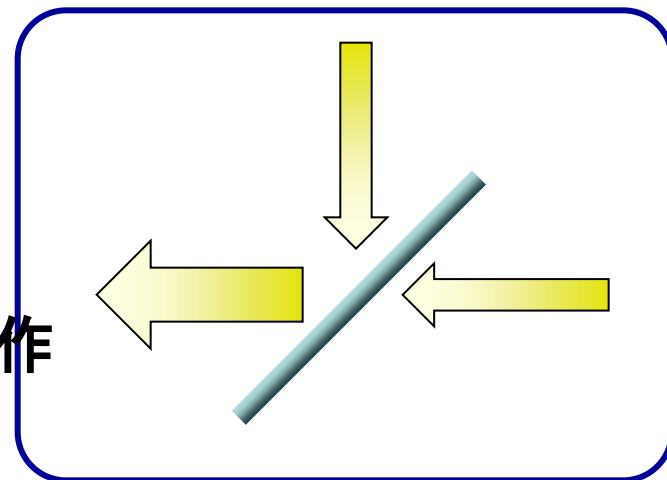
変換効率の大幅な向上

- ・アルゴンイオンレーザー
— 効率: 0.1%
- ・炭酸ガスレーザー
— 効率: 5-6%
- ・半導体レーザー
— 効率: 60%以上

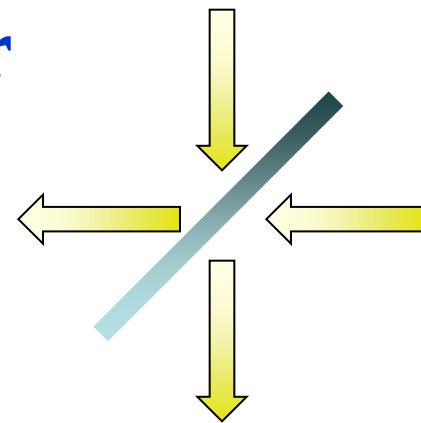
光の完全制御技術とは？：例ハーフミラー



時間反転操作

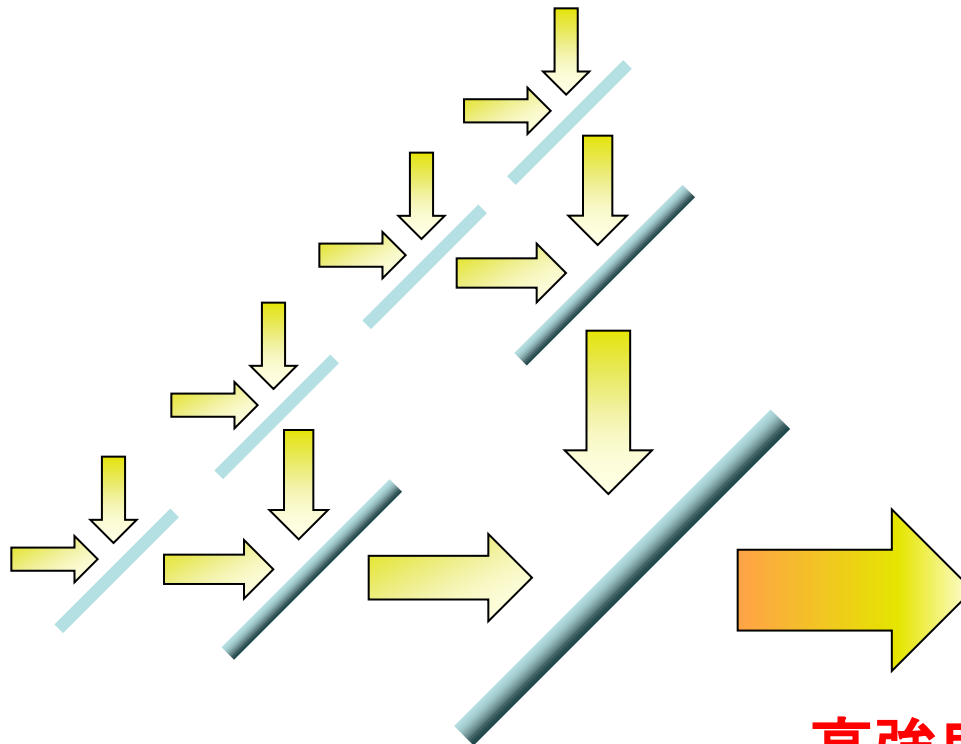


or



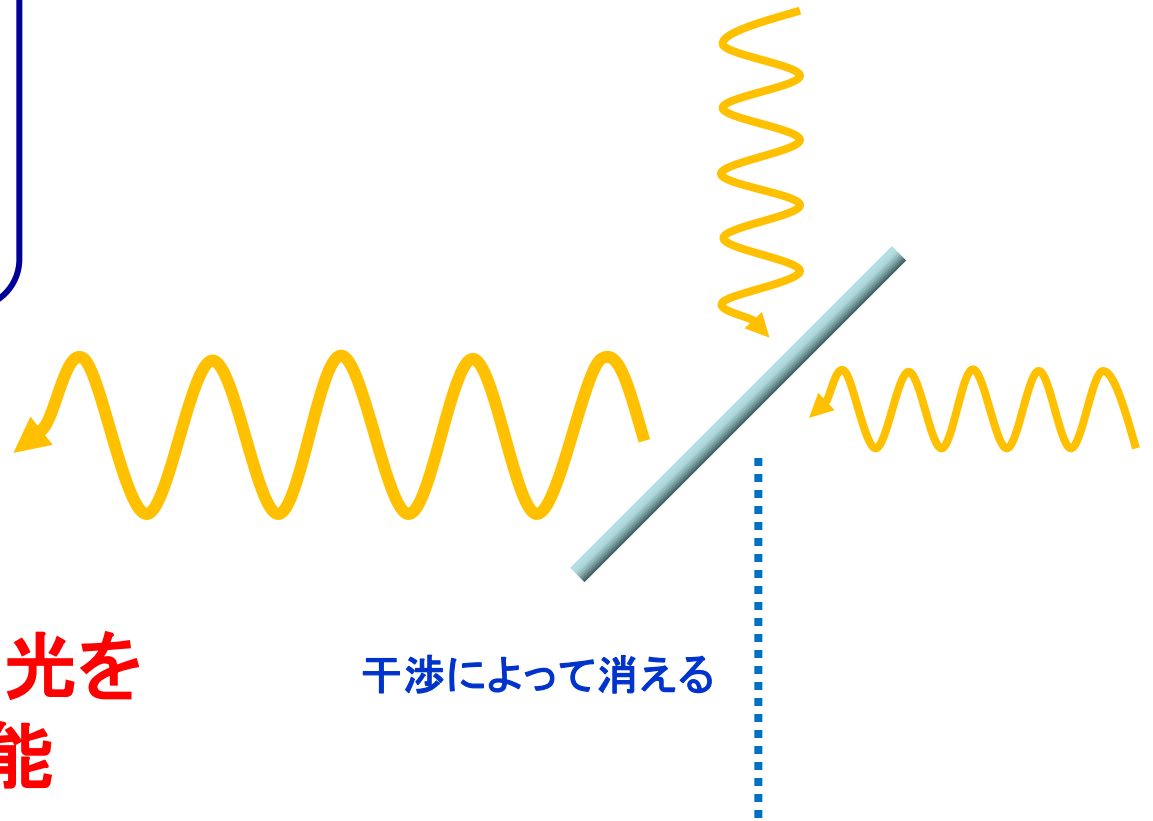
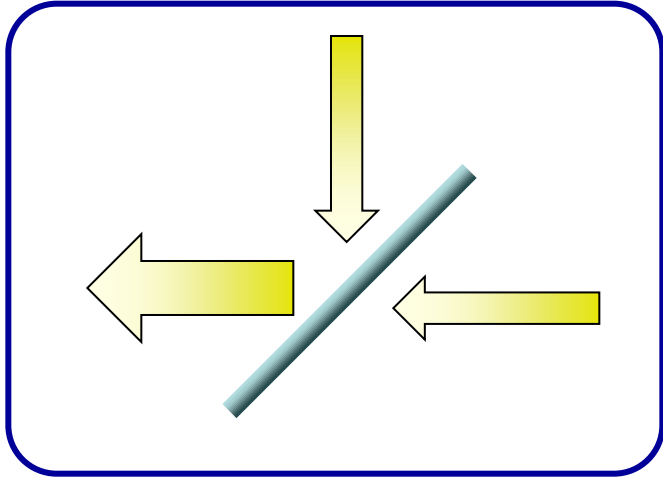
光波合成による高強度光の発生

もし、可能なら……



高強度光ビーム ？

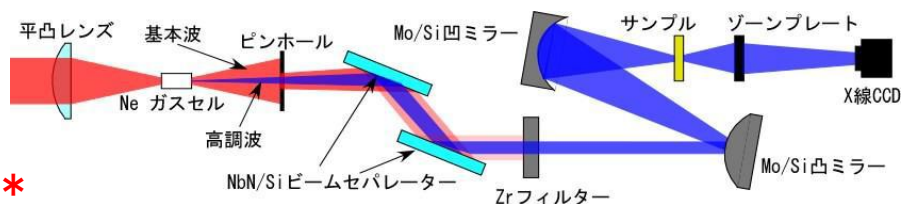
位相が制御された波の場合



片方に全ての光を
出すことが可能

X線レーザー装置(本郷キャンパスで開発中)

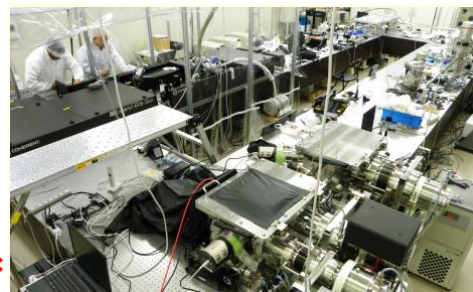
軟X線顕微鏡



*
東京大学大学院理学系研究科化学専攻
山内研究室

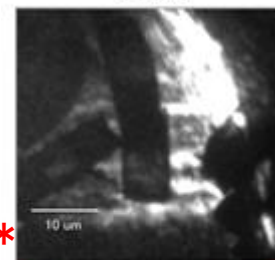
東大理学系化学
山内グループ

13nmの軟X線を用いた バイオイメーシング応用



*
東京大学大学院理学系研究科化学専攻
山内研究室

珪藻



*

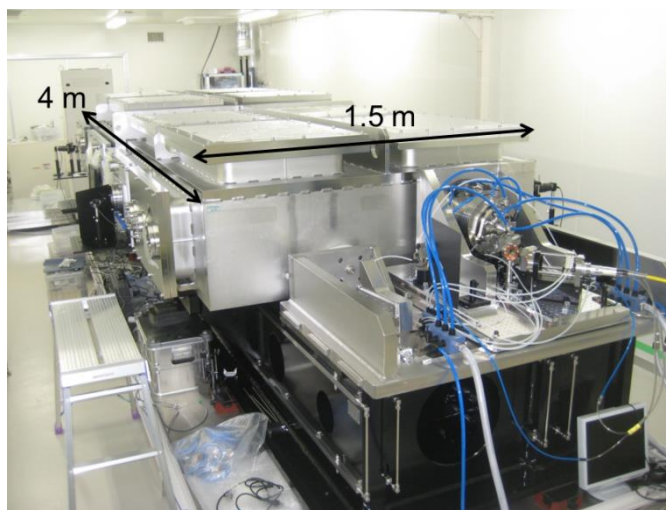


*

光学顕微鏡

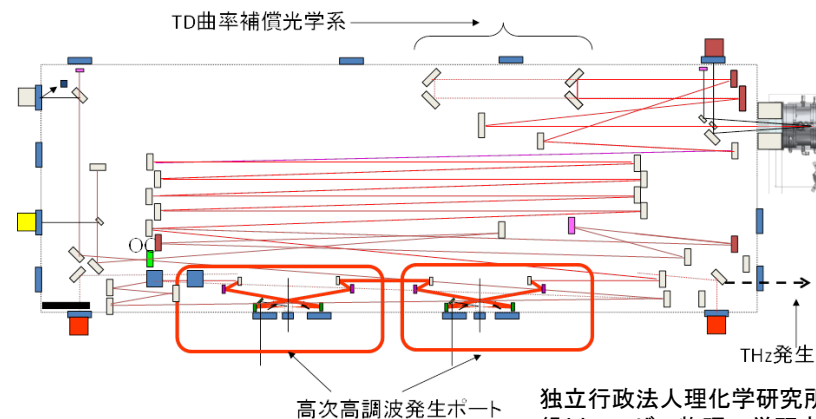
東京大学大学院
理学系研究科化学専攻
山内研究室

X線発生用新規光源



*
独立行政法人理化学研究所基幹研究所
緑川レーザー物理工学研究室

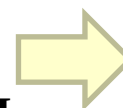
リング共振器 (3MHz rep. rate)



*

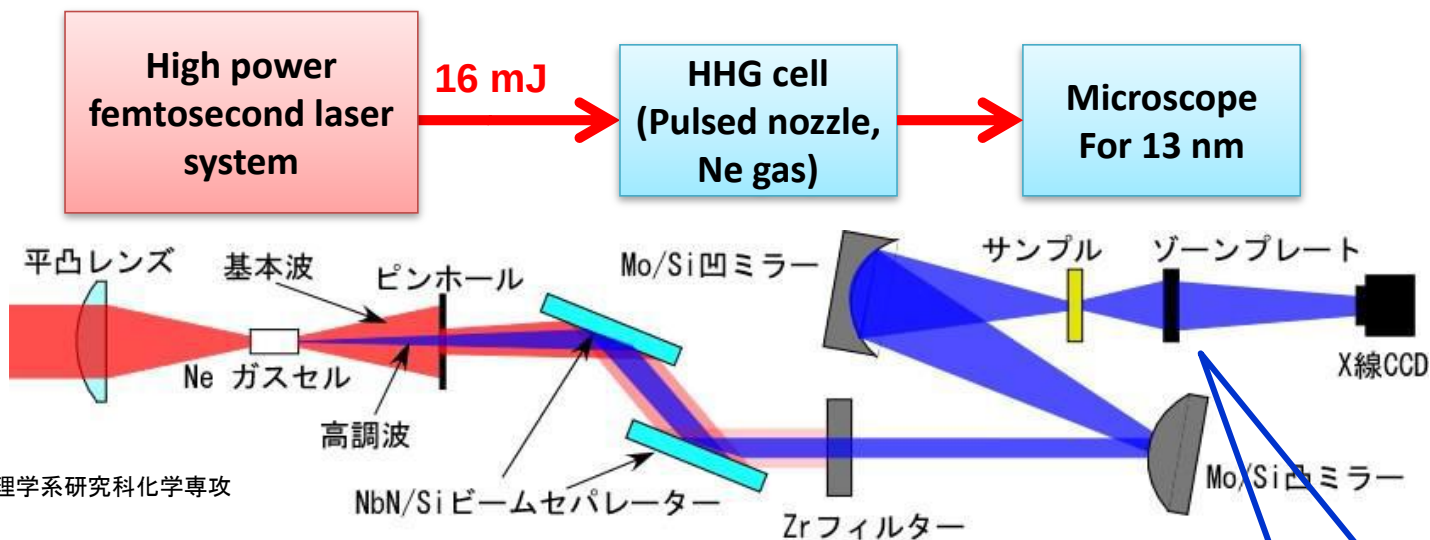
独立行政法人理化学研究所基幹研究所
緑川レーザー物理工学研究室

繰り返し 3MHz
パルス幅 300fs
パルスエネルギー 5mJ



高繰り返しX線
パルス発生

軟X線顕微鏡

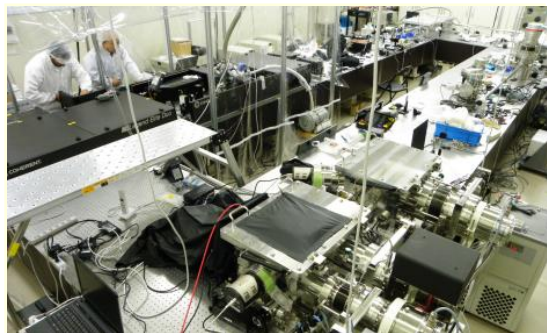


東京大学大学院理学系研究科化学専攻
山内研究室

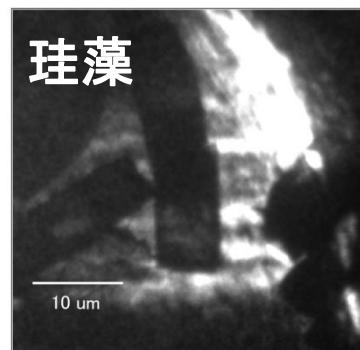


*

東京大学大学院理学系研究科化学専攻
山内研究室



*

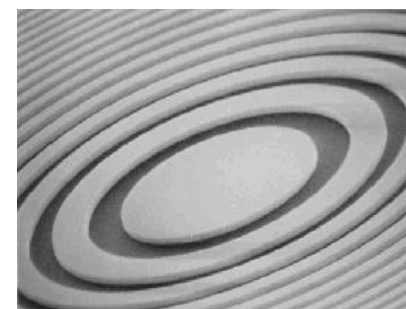


*

東京大学大学院理学系研究科化学専攻
山内研究室



*



*

10 μm

NTTアドバンステクノロジー
株式会社 Website
http://keytech.ntt-at.co.jp/nano/prd_0002.html

Zone plate
outermost width: 60 nm
Zone number: 450
Resolution: 72 nm
Magnification: 600
spot size $\Phi 50 \mu\text{m}$

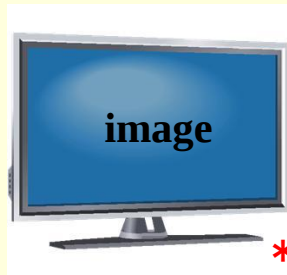
ま と め

先端レーザー技術とグリーン&ライフ・イノベーション

高いエネルギー利用効率

レーザーテレビ

- ・液晶TV:
65インチ、消費電力500W以上
- ・プラズマTV:
54インチ、消費電力500W以上
- ・レーザーTV(三菱電気)
65インチ、消費電力 135W



高効率発光デバイス

- ・アルゴンイオンレーザー
— 効率: 0.1%

- ・炭酸ガスレーザー
— 効率: 5-6%

- ・半導体レーザー
— 効率: 60%以上

白熱電球: 可視光約 10%
蛍光灯: 可視光約 25%
白色LED: 可視光約 32%

ライフ・イノベーション

レーザー生体計測



血糖値測定

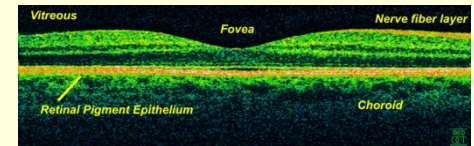


Photo by medOCT-group, Med. Univ. Vienna
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Retina-OCT800.png>
CC BY 2.0

網膜のOCT画像

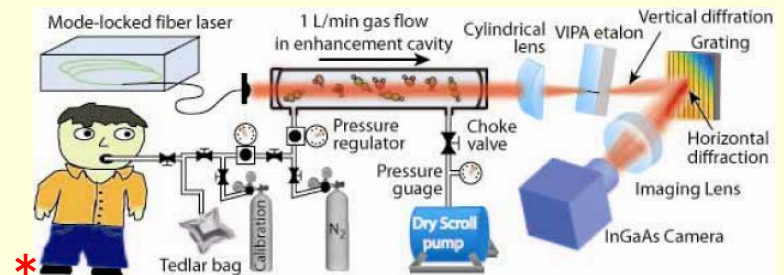
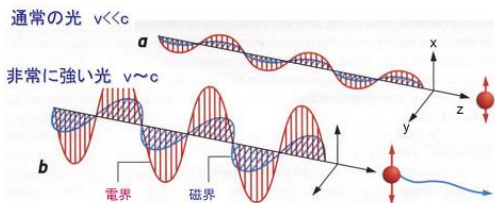


Fig. 1 in Michael J. Thorpe, David Balslev-Clausen, Matthew S. Kirchner, Jun Ye, *Opt. Express* 16, 2387-2397 (2008).

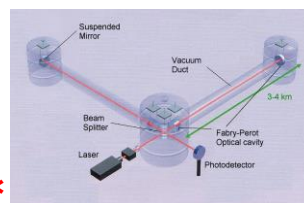
光コムを利用した呼吸診断

高エネルギー物理学

真空の非線形性
レーザー粒子加速



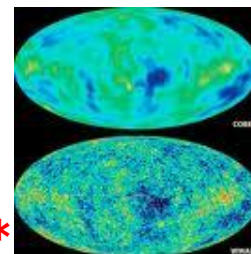
* 文部科学省 科学技術・学術審議会・資源調査分科会報告書
(2007)「光資源を活用し、創造する科学技術の振興－持続可能な「光の世紀」に向けて－」より



* 三尾典克氏ご提供画像
レーザー干渉
重力波アンテナ

宇宙

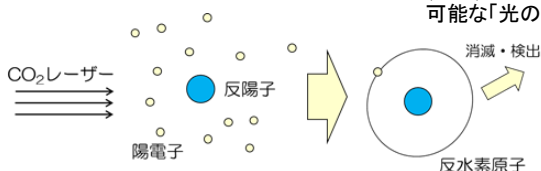
* © 国立天文台



NASA / WMAP Science Team

テラヘルツ望遠鏡
(0.3THzくらい)

原子核物理

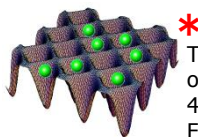


CPT対称性の検証

先端フotonサイエンス
feV ~ KeV
単一光子~PW
光波の完全制御技術

極限計測・精密分光

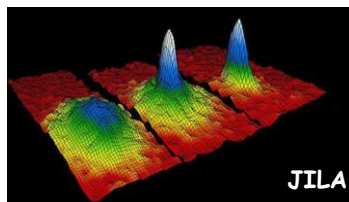
光格子原子時計
時間標準



* Takamoto et al. (2005) "An optical lattice clock," *Nature* 435(7040): 321-324, p.321, Fig.1a.

量子情報

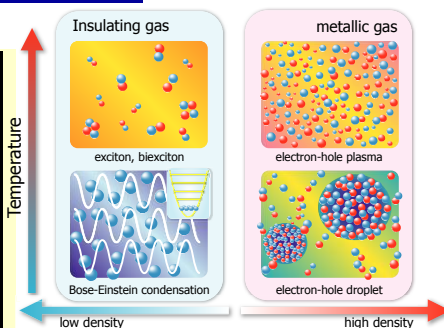
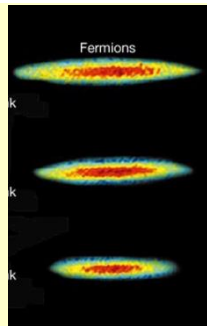
量子多体系物理



極低温原子ガス

RICE

Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd:
Nature 416(6877), 211-218, copyright 2002.

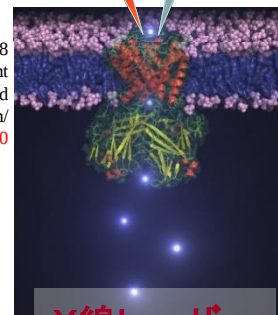


固体の素励起

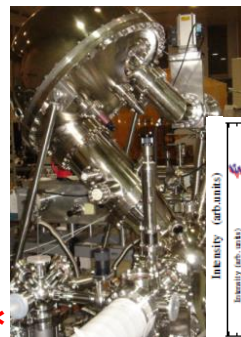
バイオ・物質科学 応用

レーザーピンセット

蛍光プローブ光 顕微鏡X線光

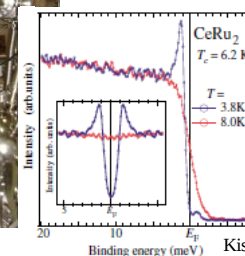


X線レーザー
顕微鏡



* 東京大学
先端ナノ計測ハブ拠点

レーザー光電子分光



* Kiss et al. (2005) Photoemission Spectroscopic Evidence of Gap Anisotropy in an f-Electron Superconductor, *Physical Review Letters* 95, 057001, p.3, Fig.2(a). Copyright APS.
<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v94/i5/e057001>

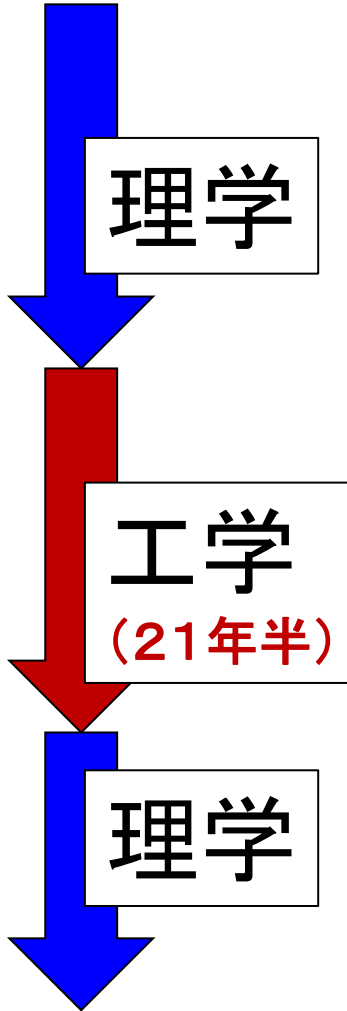
著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。
Nature Photonics 2(6), 2008 の表紙画像
<http://www.nature.com/nphoton/journal/v2/n6/covers/index.html>

© copyright 2008
by Tim Nugent
[http://ultrawide.word
press.com/](http://ultrawide.wordpress.com/)
CC BY-NC-ND 3.0

理学か工学か？

プロフィール

1976年	東京大学理科一類入学
1980年	東京大学理学部物理学科卒業
1980年	東京大学大学院理学系研究科修士課程 入学
1982年	東京大学大学院理学系研究科博士課程 進学
1983年	東京大学理学部物理学教室助手（博士中退）
1985年	理学博士
1988年	東京大学工学部物理工学科 講師
1990年	東京大学工学部物理工学科・ （1995年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻） 助教授
1998年	東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 教授
2010年4月	東京大学大学院工学系研究科附属光量子科学研究センター センター長 教授
	東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 教授（兼務）
2010年10月	東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 教授（本務） 東京大学大学院工学系研究科附属光量子科学研究センター センター長（兼務）
2012年4月	副学長（兼務）



理学

工学
(21年半)

理学

東大工学部

工学部(130年)

(1877, M10) 工部大学校

(1886, M19) 東京大学工科大学 **大学に設置された世界最初の工学部！**

(1897, M30) 京都大学工学部

戦後学制改革：

旧制の研究教育大学モデルによるハイレベル学部教育

質・量に優れた高度学士を輩出、国際的優位性、

高品質大量生産モデルによる生産技術イノベーション

エレクトロニクス・通信・精密機械
新産業の創出 → 世界の産業を牽引

工学「Engineering」とは？

Encyclopedia Britannicaに見る“Professional Engineer”

- The engineer's principal work is to discover and conserve natural resources of materials and forces, including the human, and to create means for utilizing these resources with minimal cost and waste and with maximal useful results

Wikipediaに見る“Engineer”

- An engineer is a professional practitioner of engineering, concerned with applying scientific knowledge, mathematics and ingenuity to develop solutions for technical problems

「新しい価値観の創造」
「新たな課題の設定」
「有限のリソースでの解決法の提示」

サイエンス：知の創造、知の領域の拡大

二兎なのか？