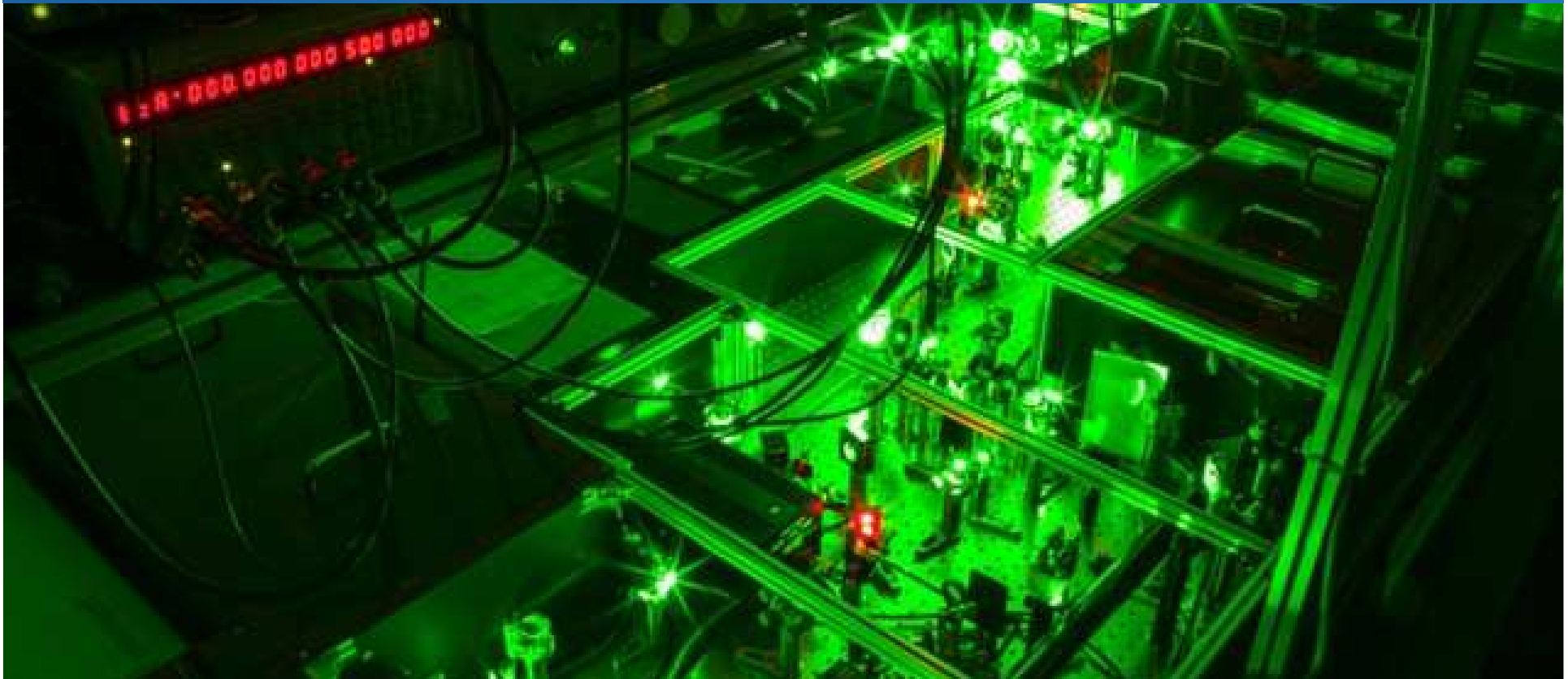


アト秒科学

超高速光科学のフロンティア



A6サブコース(一般物理学実験)
板谷治郎(東大物性研)

平成29年度物理学専攻入試ガイダンス
2016.5.28 東大理学部1号館

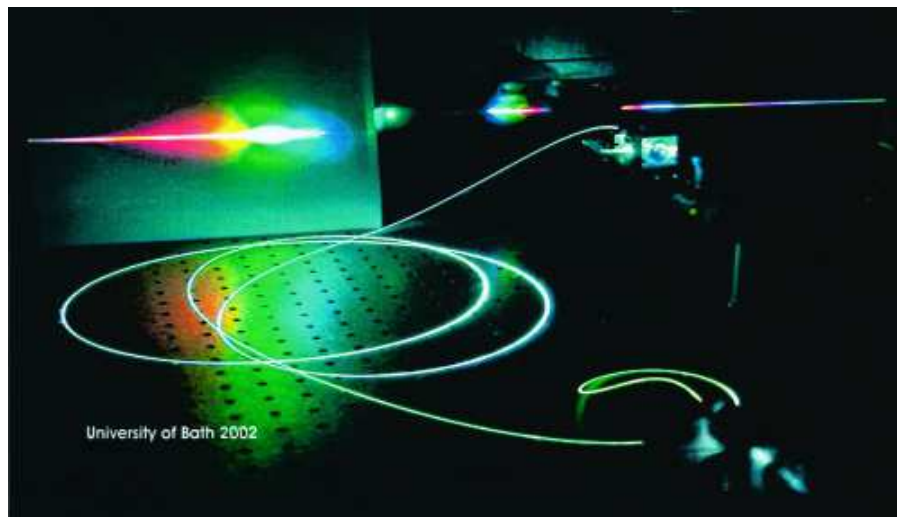
A6サブコース(一般物理実験)

Physics would be dull and life most unfulfilling if all physical phenomena around us were linear. Fortunately, we are living in a nonlinear world. While linearization beautifies physics, nonlinearity provides excitement in physics. This book is devoted to the study of nonlinear electromagnetic phenomena in the optical region which normally occur with high-intensity laser beams.

[Y. R. Shen, The principle of Nonlinear Optics (1984)]

非線形応答の面白さ・難しさ

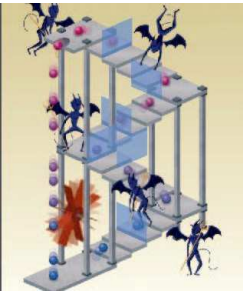
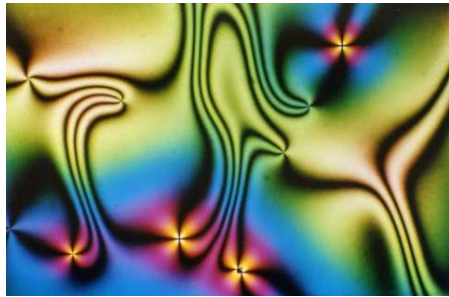
自己組織化、秩序形成、相転移、...
量子多体効果、巨視的な量子現象、...



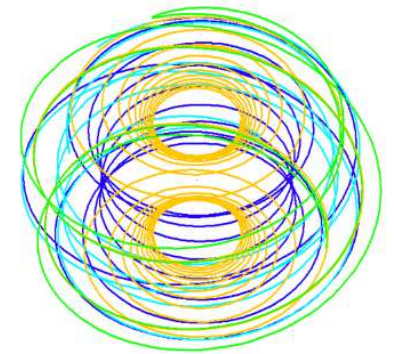
- 非平衡系の物理学
- プラズマ・核融合
- レーザー・光科学

A6サブコース(一般物理実験)

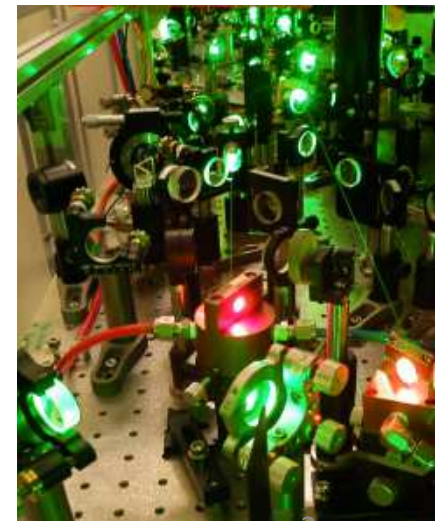
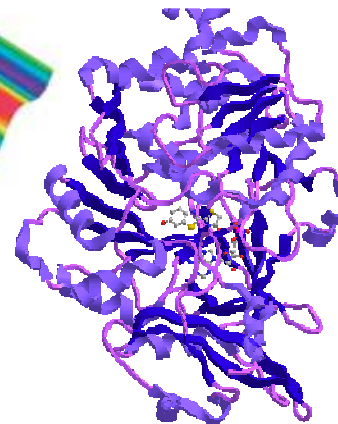
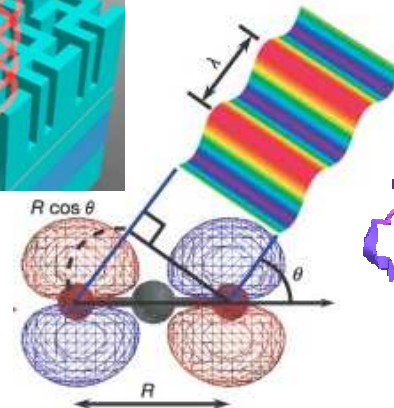
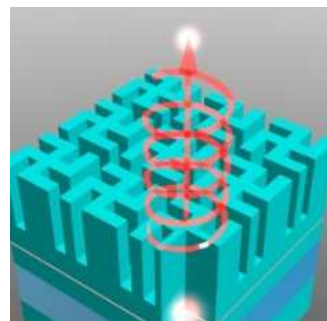
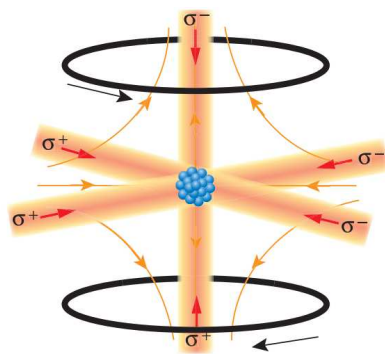
- 非平衡系の物理学



- プラズマ・核融合



- レーザー・光科学



A6サブコース(一般物理実験)

- 非平衡系の物理学



佐野

本郷

- レーザー・光科学

駒場



鳥井



湯本



酒井

- プラズマ・核融合



高瀬



江尻

柏

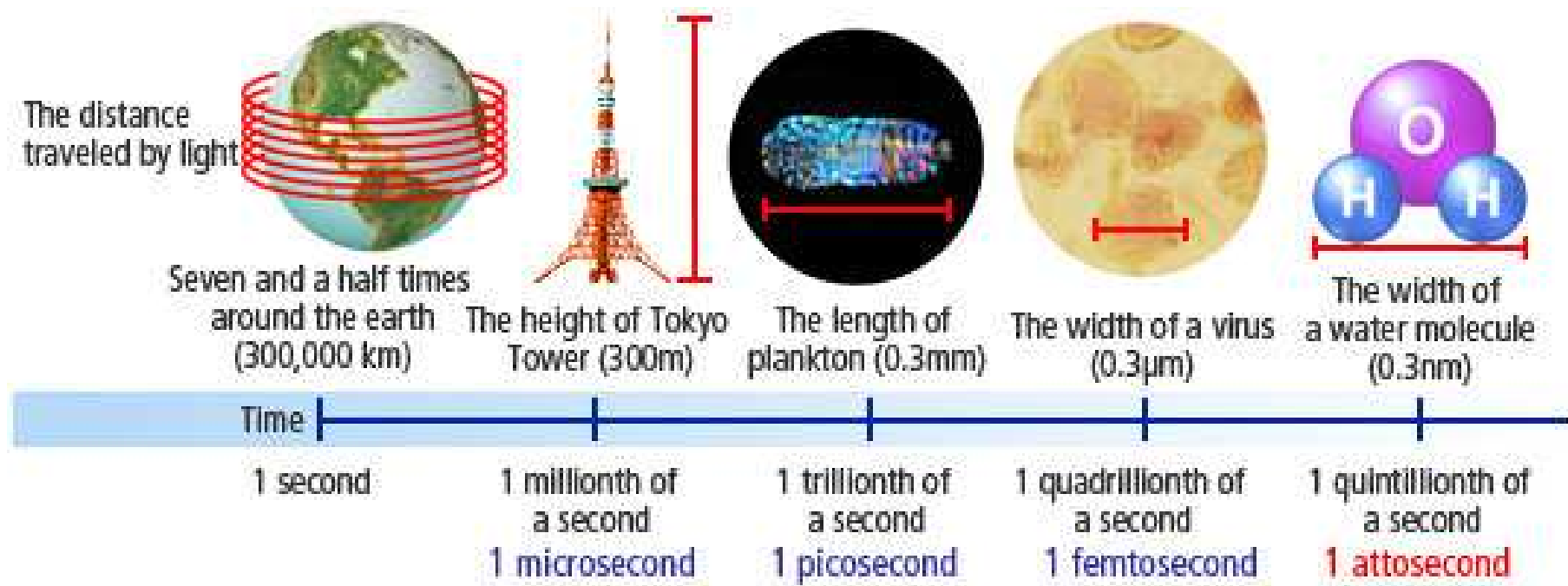


秋山



板谷

アト秒とは？



$$1 \text{ asec} = 10^{-18} \text{ sec}$$

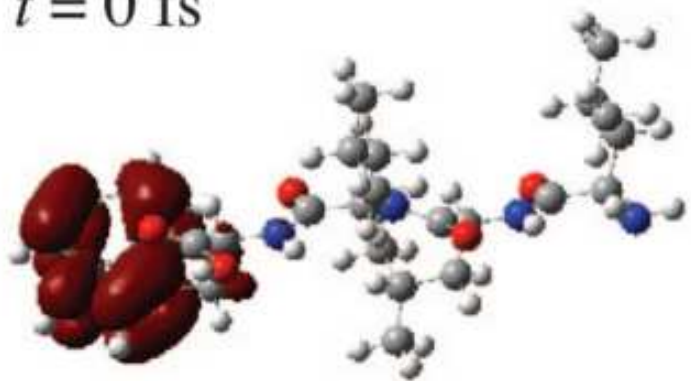
$$c = 3 \text{ Angstrom/asec}$$

アト秒とは？

An electronic time scale in chemistry

F. Remacle*[†] and R. D. Levine*^{‡§}

$t = 0$ fs



$t = 0.75$ fs



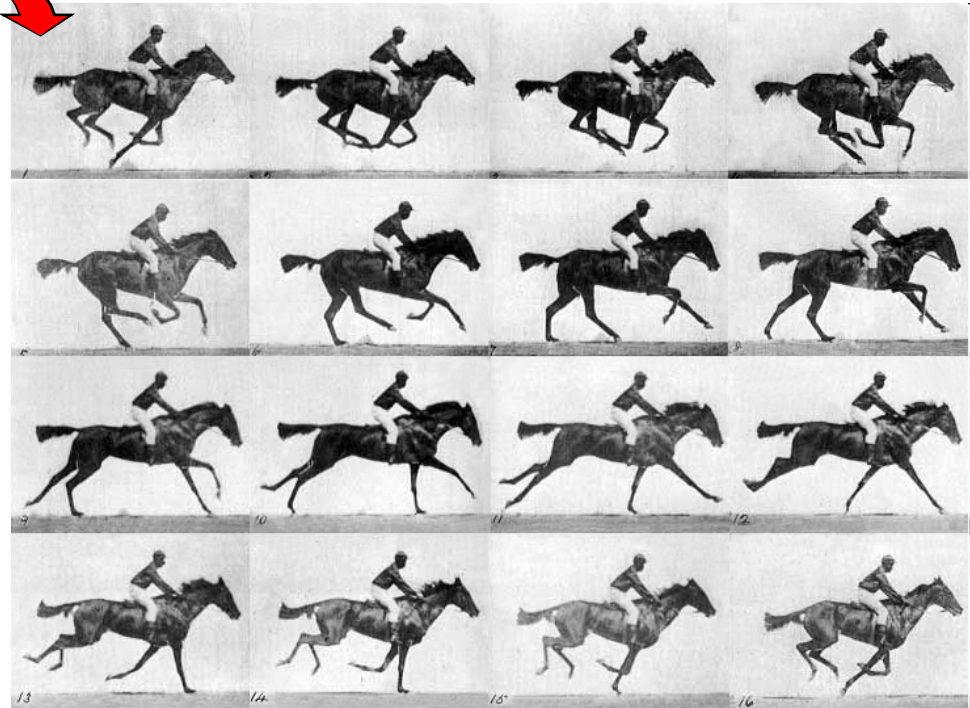
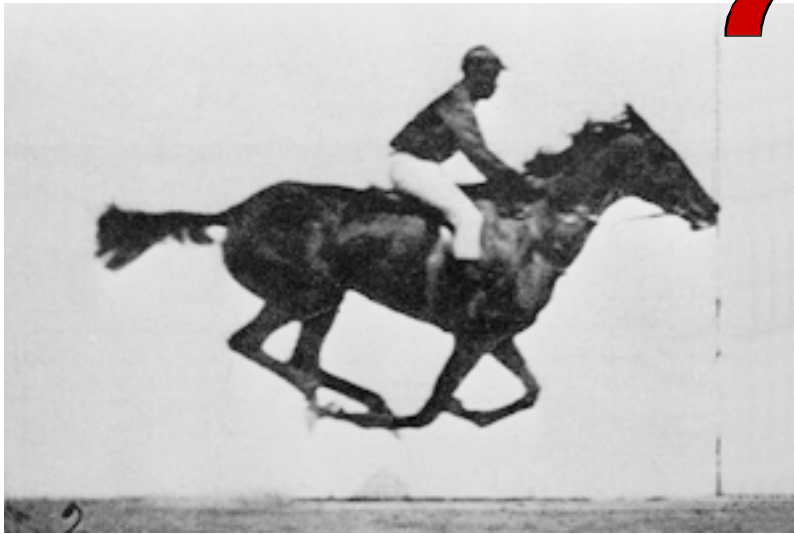
$$\Delta E \cdot \Delta t > \frac{\hbar}{2} (\sim 2.1 \text{ fs} \cdot \text{eV})$$

そもそもの話

Fast detector is not fast enough these days.

The fastest electronics $\sim 10 \text{ GHz} \sim 0.1 \text{ ns}$ ($=10^{-10} \text{ sec}$)

Time scale of molecular vibration $\sim 100 \text{ fs}$ ($= 10^{-13} \text{ sec}$)
electron motion $\sim 100 \text{ attosec}$ ($= 10^{-16} \text{ sec}$)



Photos taken between 1878 and 1887 by Eadweard Muybridge (USA)

超高速分光



The Nobel Prize in Chemistry 1999

"for his studies of the transition states of chemical reactions using femtosecond spectroscopy"

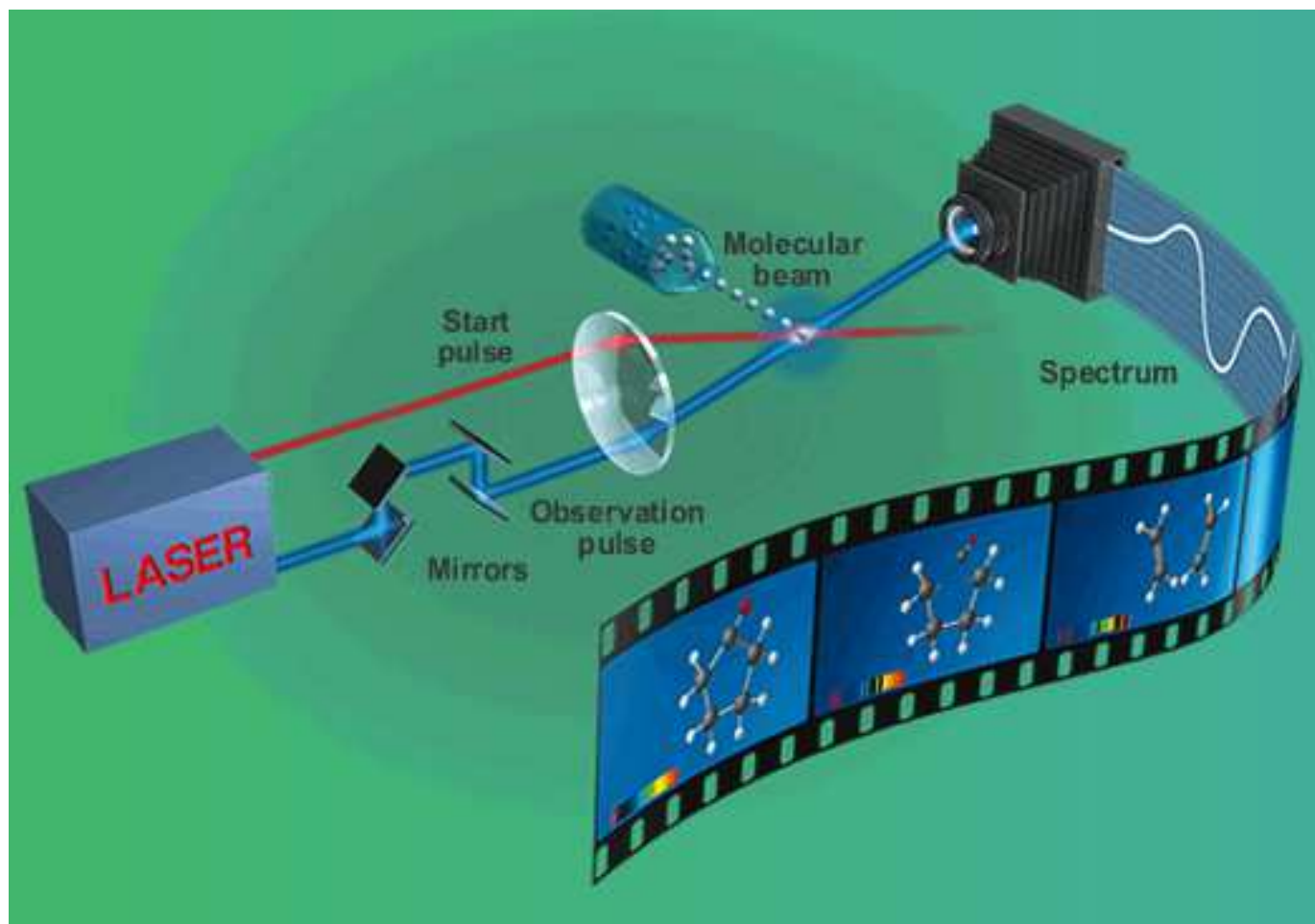


Ahmed H. Zewail

Egypt and USA

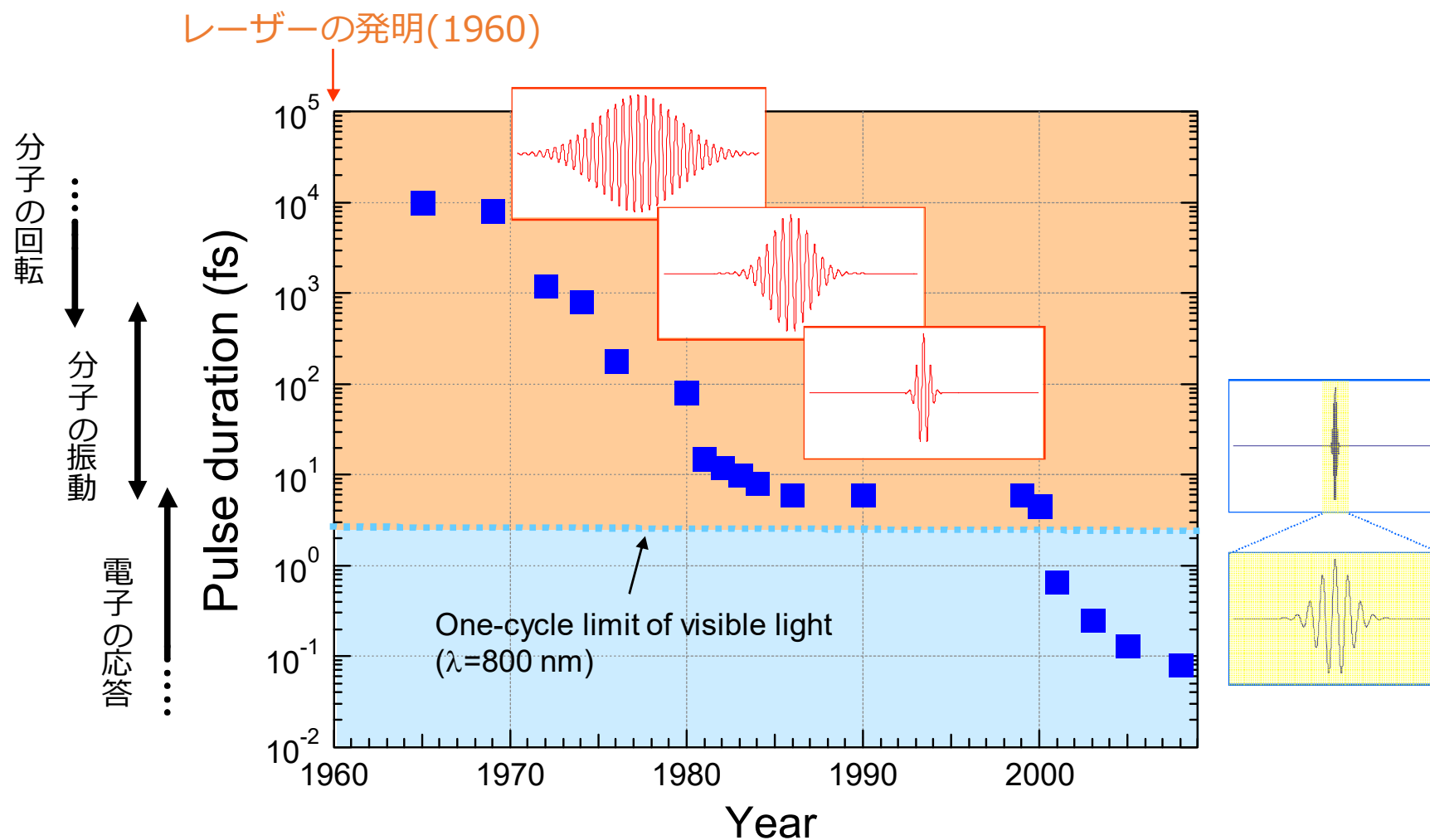
California Institute of
Technology (Caltech)
Pasadena, CA, USA

b. 1946



A. Zewail, J. Phys. Chem. A 104, 5660 (2000).

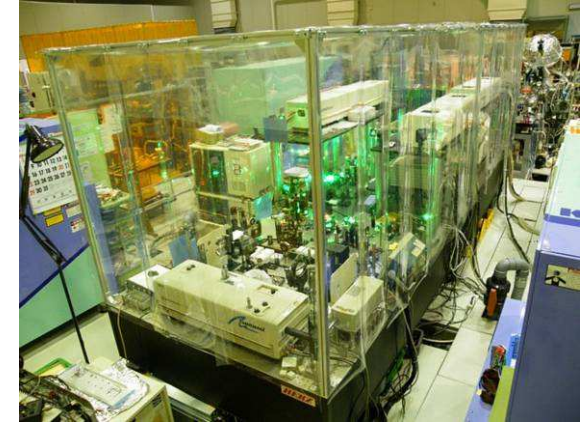
最短パルス光の記録更新



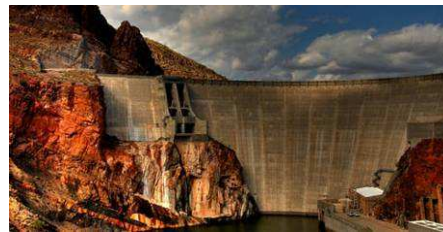
光エネルギーの集中

典型的なピークパワーは、1 TW ($=10^{12}$ W).

$$\text{ピークパワー [W]} = \frac{\text{エネルギー [J]} \quad \text{20 mJ}}{\text{パルス幅 [sec]} \quad \text{20 fs}} \quad \text{1 TW}$$

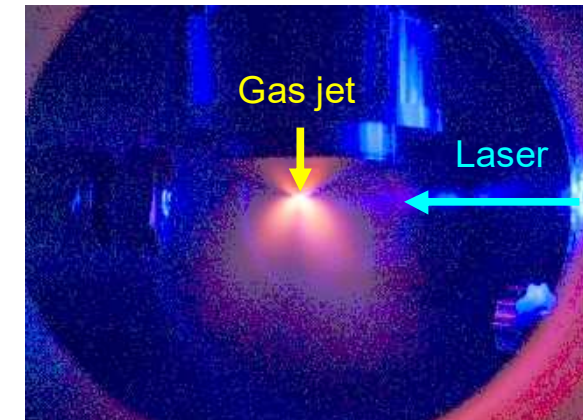


Cf. 全世界で連続的に作られている電力 ~ 2 TW.



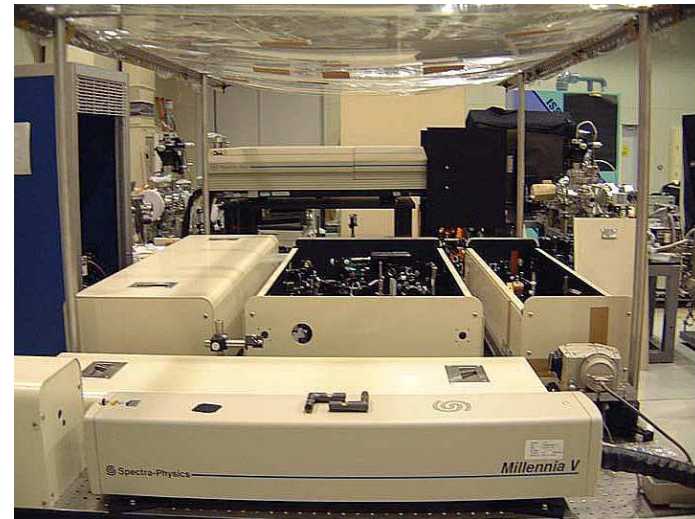
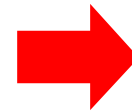
典型的な集光強度は、 10^{15} W/cm² .

$$\text{強度 [W/cm}^2\text{]} = \frac{\text{ピークパワー [W]} \quad \text{1 TW (=10}^{12}\text{ W)}}{\text{集光面積 [cm}^2\text{]} \quad \phi 0.3\text{mm}} \quad \text{10}^{15}\text{ W/cm}^2$$



テーブルトップ・テラワットレーザー

強光子場物理の実験的研究が、大学の実験室で可能となった。



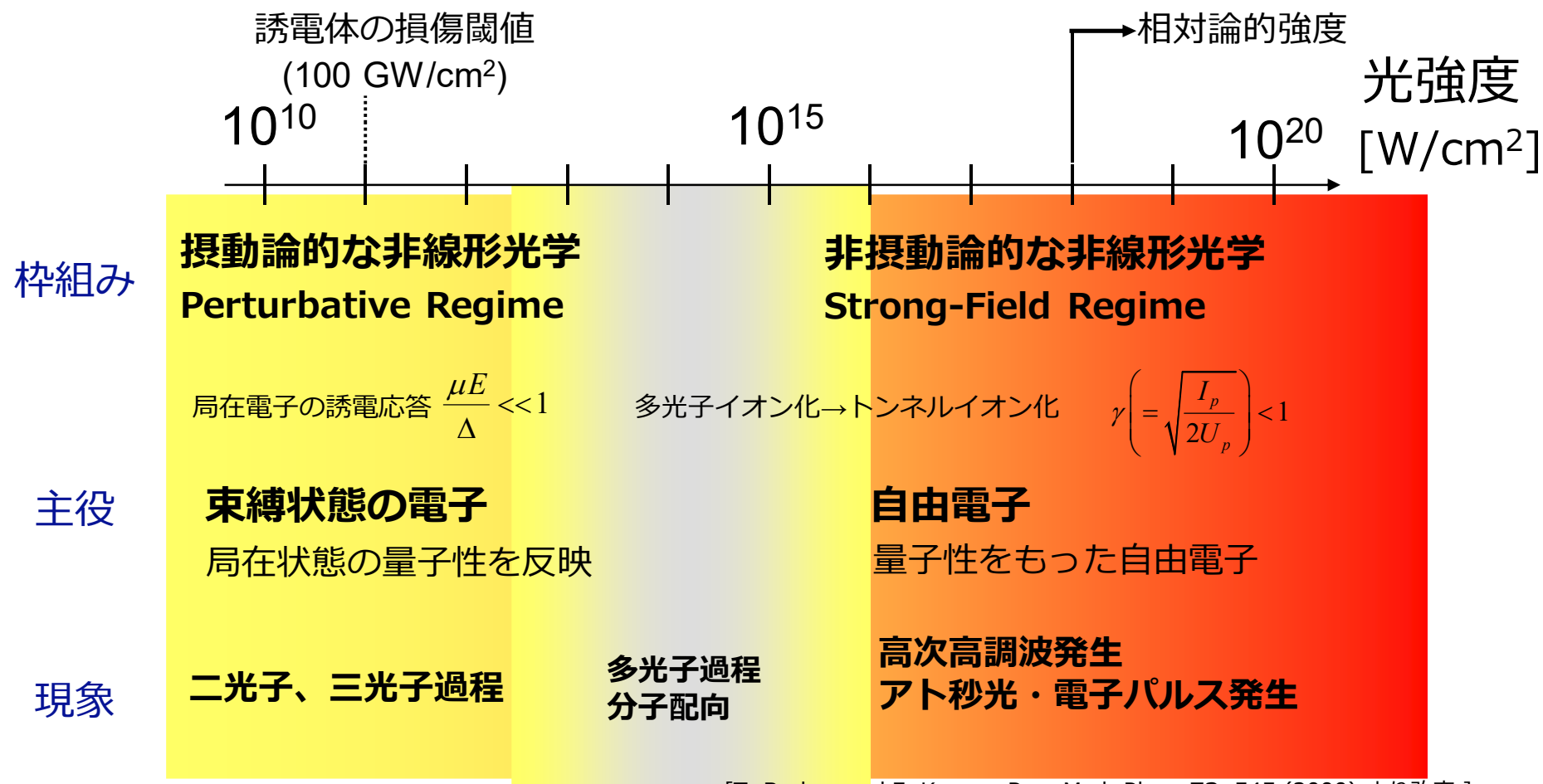
Nova @ LLNL (1980's)

パルスエネルギー	4kJ
パルス幅	4ns
ピーク出力	1 TW
繰り返し	1 /hours
波長	1054 nm

10-Hz Ti:S @ ISSP (1997)

パルスエネルギー	0.48 J
パルス幅	22 fs
ピーク出力	22 TW
繰り返し	10 Hz
波長	800 nm

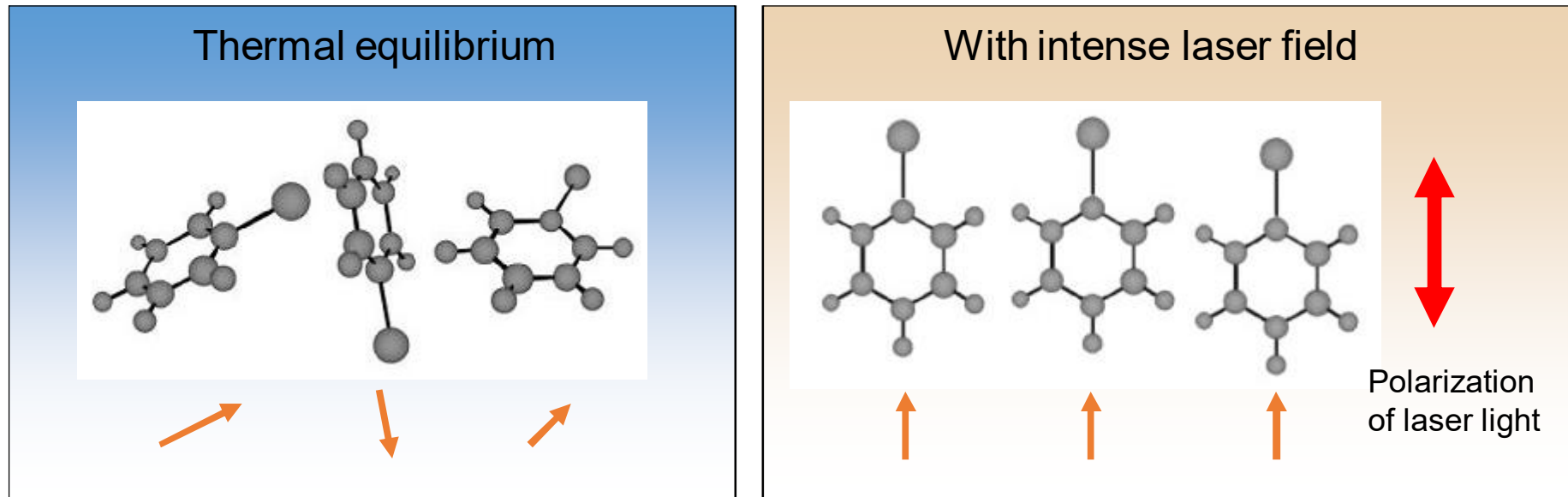
強光子場科学



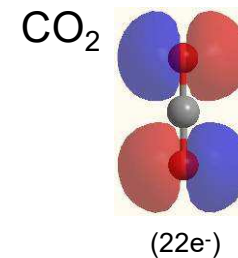
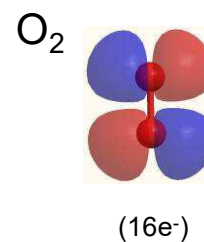
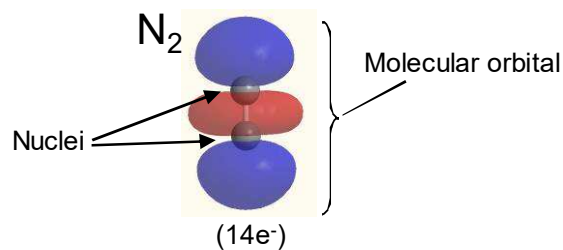
[T. Brabec and F. Krausz, Rev. Mod. Phys. **72**, 545 (2000) より改変.]

分子の配列・配向化 (10^{11-12} W/cm²)

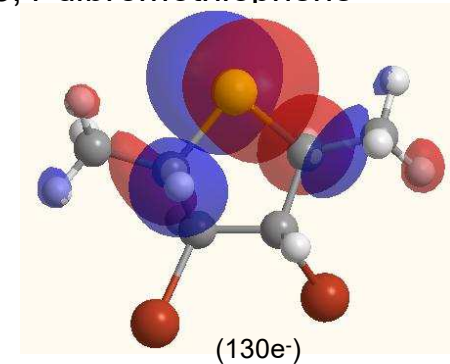
At 10^{13} W/cm², we can align some molecules.



Molecules that we can align:



3,4-dibromothiophene



The outermost “electron clouds” are shown with molecular structures.

光電場によるイオン化 (10^{12-15} W/cm²)

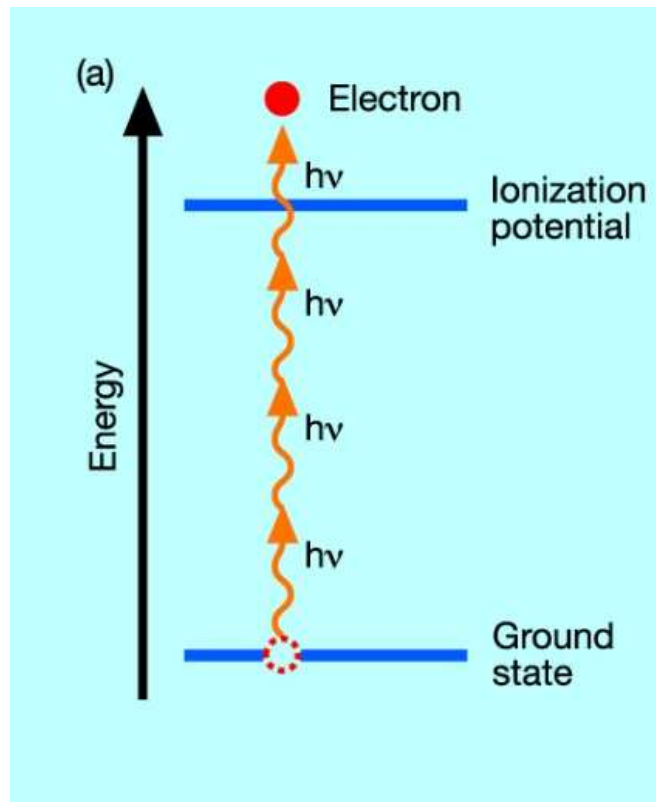
同時に相互作用する光子数

$$\rho = \frac{I\lambda^3}{(\hbar\omega)c} \approx 2 \times 10^{10} \text{ ph / cubic wavelength}$$

[@ 10^{14} W/cm², 1.06 μ m]

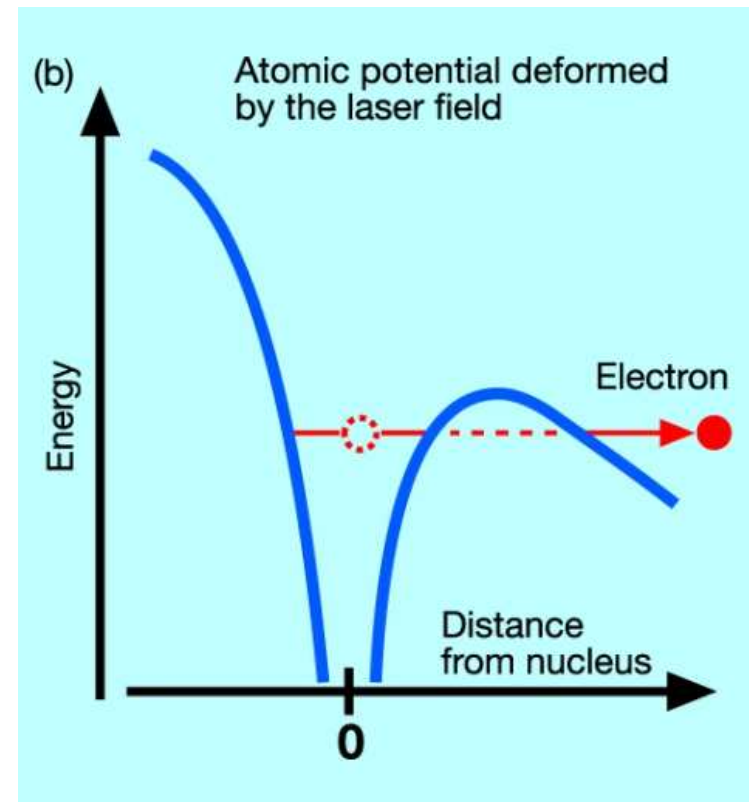
多光子イオン化

光の粒子性が顕著

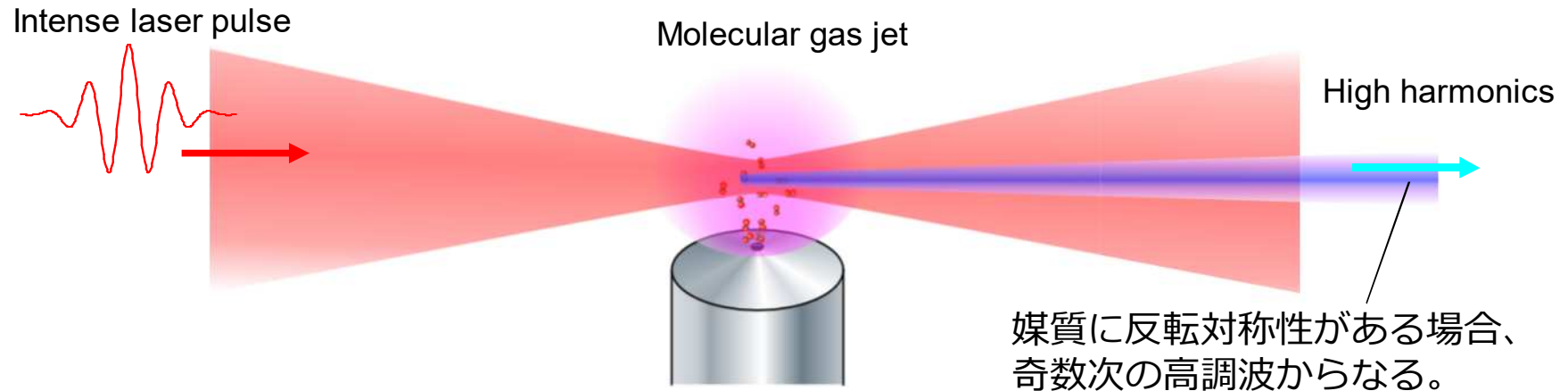


トンネルイオン化

光の波動性が顕著

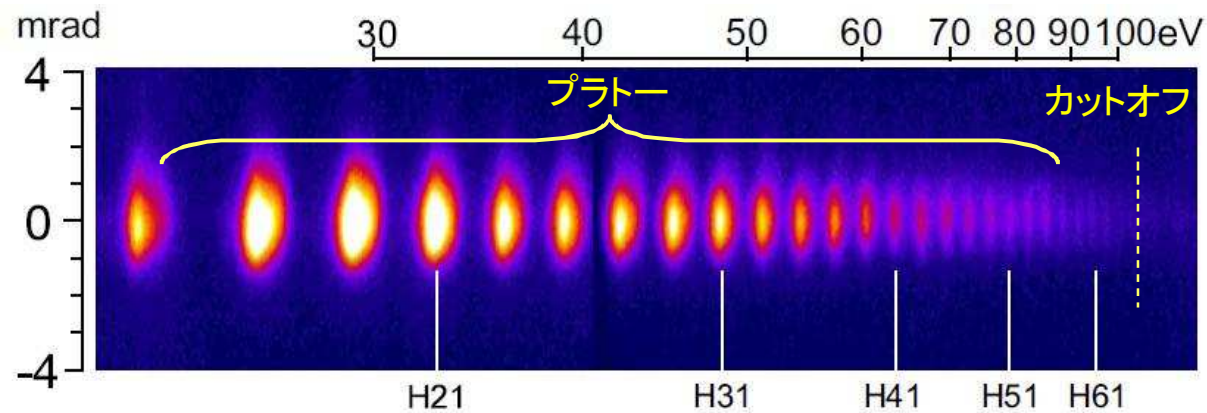


高次高調波発生 (10¹⁴⁻¹⁵ W/cm²)



$$\hbar\omega_X = (2m + 1)\hbar\omega_L$$

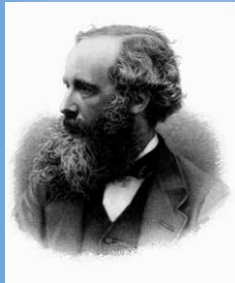
Spatially-resolved spectrum of high harmonics (false color)



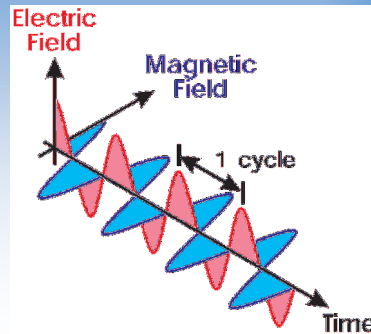
アト秒科学

光で操る、アト秒・オングストロームスケールの物理学

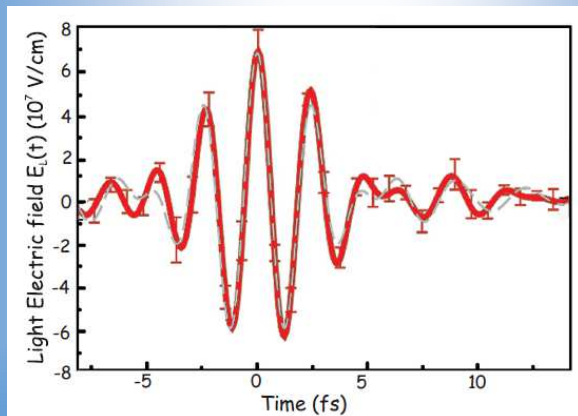
アト秒計測法



J. C. Maxwell (1831-1879)



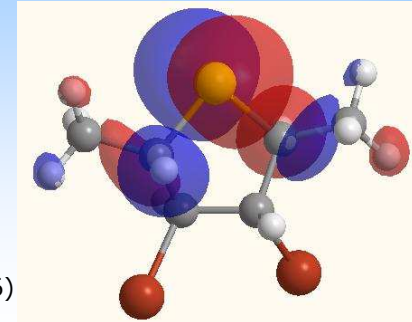
光電場波形の直接観測 Goulielmakis et al. Science (2004).



アト秒電子波束による量子計測法



R. S. Mulliken (1896-1986)



最外殻電子軌道の観測

原理と実験 JI et al. Nature (2004).

