

Verbesserungen der Laser in der Richtung kürzerer Impulse

Etienne Averlant

17. Juni 2009

Motivationen

- $I = \frac{E}{S_T}$

Motivationen

- $I = \frac{E}{S_T}$
- Zeitliche Auflösung

Motivationen

- $I = \frac{E}{S_T}$
- Zeitliche Auflösung
- Nichtlineare Optik

Plan des Vortrages

- Allgemeine Einführung

Plan des Vortrages

- Allgemeine Einführung
- Hier geht es um Zeit!

Plan des Vortrages

- Allgemeine Einführung
- Hier geht es um Zeit!
 - Was sind die theoretischen Grundlagen dieses Systems?

Plan des Vortrages

- Allgemeine Einführung
- Hier geht es um Zeit!
 - Was sind die theoretischen Grundlagen dieses Systems?
 - Wie ist es technologisch gemacht worden?

Plan des Vortrages

- Allgemeine Einführung
- Hier geht es um Zeit!
 - Was sind die theoretischen Grundlagen dieses Systems?
 - Wie ist es technologisch gemacht worden?
 - Was kann man damit tun?

Neuerungenverzeichnis

■ Ammonia beam-type maser¹

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95**, **99** (1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123** (1961)

³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33** (1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13** (1993)

Neuerungenverzeichnis

- Ammonia beam-type maser¹
- Rubin gepulster Laser²

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95**, **99** (1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123** (1961)

³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33** (1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13** (1993)

Neuerungenverzeichnis

- Ammonia beam-type maser¹
- Rubin gepulster Laser²
- Erster Laser mit Güteschalter(Q-switch)³

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95,99**(1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123**(1961)

³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33**(1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13**(1993)

Neuerungenverzeichnis

- Ammonia beam-type maser¹
- Rubin gepulster Laser²
- Erster Laser mit Güteschalter(Q-switch)³
- Erster modengekoppelter Laser⁴

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95,99**(1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123**(1961)

³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33**(1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13**(1993)

Neuerungenverzeichnis

- Ammonia beam-type maser¹
- Rubin gepulster Laser²
- Erster Laser mit Güteschalter(Q-switch)³
- Erster modengekoppelter Laser⁴
- Chirped pulse amplification⁵

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95,99**(1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123**(1961)

³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33**(1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13**(1993)

Neuerungenverzeichnis

- Ammonia beam-type maser¹
- Rubin gepulster Laser²
- Erster Laser mit Güteschalter(Q-switch)³
- Erster modengekoppelter Laser⁴
- Chirped pulse amplification⁵
- High harmonics generation⁶

¹Gordon et al., *Phys. Rev.* **95,99**(1954/1955)

²Maiman et al., *Phys. Rev.* **123**(1961)

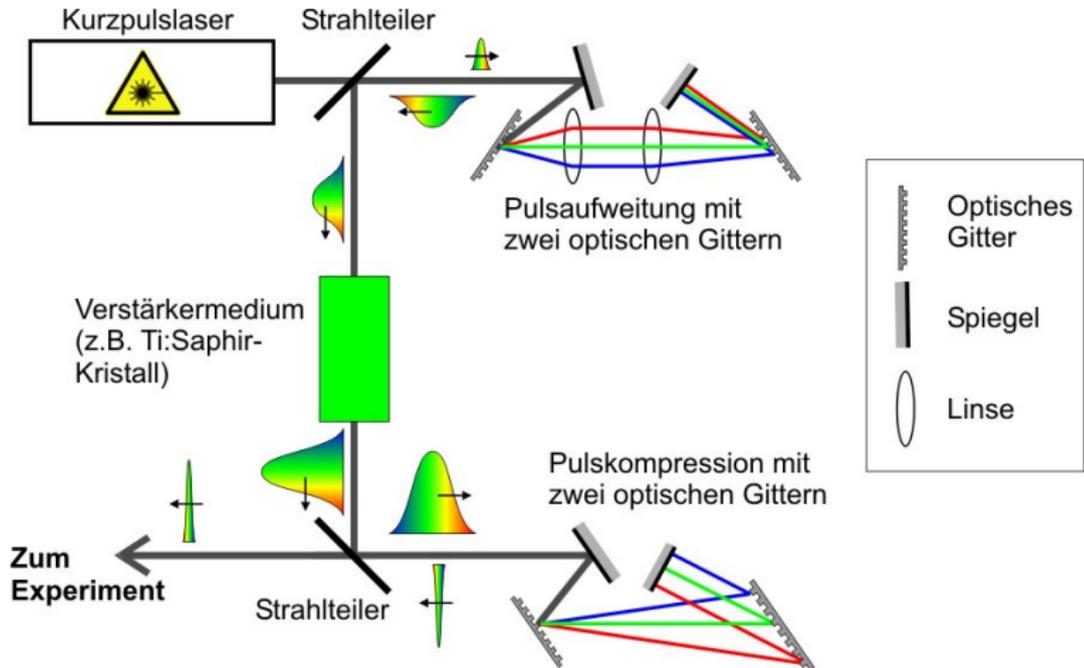
³McClung, Hellwarth, *Journal of Applied Physics* **33**(1962)

⁴Hargrove et al. *Appl. Phys. Lett.* **5**, 4 (1964)

⁵D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.* **56**, 219 (1985)

⁶P.B.Corkum *Plasma Perspective on Strong-Field Multiphoton Ionization*, *Physical review letters* **71**, **13**(1993)

Chirped Pulse Amplification



■ Bild: <http://de.wikipedia.org>

- Was passiert in diesem Verstärker?

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

- Gaußformige Intensität $I(t) = I_0 \exp(-\frac{t^2}{\tau^2})$
- $\frac{dn}{dt} = \frac{-2n_2 t}{\tau^2} I(t)$

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

- Gaußformige Intensität $I(t) = I_0 \exp(-\frac{t^2}{\tau^2})$
- $\frac{dn}{dt} = \frac{-2n_2 t}{\tau^2} I(t)$
- Veränderung der instantanen Phase der Welle

$$\Phi(t) = \omega_0 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} nL$$

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

- Gaußformige Intensität $I(t) = I_0 \exp(-\frac{t^2}{\tau^2})$
- $\frac{dn}{dt} = \frac{-2n_2 t}{\tau^2} I(t)$
- Veränderung der instantanen Phase der Welle

$$\Phi(t) = \omega_0 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} nL$$

- $\omega(t) = \omega_0 - \frac{4\pi L n_2}{\lambda_0 \tau^2} I(t)$
- Ausbreitung des Spektrums des Impulses

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

- Gaußformige Intensität $I(t) = I_0 \exp(-\frac{t^2}{\tau^2})$
- $\frac{dn}{dt} = \frac{-2n_2 t}{\tau^2} I(t)$
- Veränderung der instantanen Phase der Welle

$$\Phi(t) = \omega_0 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} nL$$

- $\omega(t) = \omega_0 - \frac{4\pi L n_2}{\lambda_0 \tau^2} I(t)$
 - Ausbreitung des Spektrums des Impulses
- Transform-limited gaußformige Impuls: $\tau \Delta\nu = \frac{1}{4\pi}$

- Was passiert in diesem Verstärker?
 - Selbstphasenmodulation
 - Kerr-Medium: Brechungsindex n gegeben durch

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t)$$

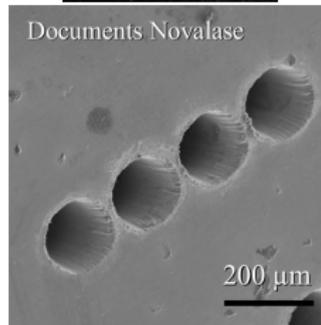
- Gaußformige Intensität $I(t) = I_0 \exp(-\frac{t^2}{\tau^2})$
- $\frac{dn}{dt} = \frac{-2n_2 t}{\tau^2} I(t)$
- Veränderung der instantanen Phase der Welle

$$\Phi(t) = \omega_0 t - \frac{2\pi}{\lambda_0} nL$$

- $\omega(t) = \omega_0 - \frac{4\pi L n_2}{\lambda_0 \tau^2} I(t)$
 - Ausbreitung des Spektrums des Impulses
- Transform-limited gaußformige Impuls: $\tau \Delta\nu = \frac{1}{4\pi}$
 - Abkürzung der Dauer des Impulses

Anwendungen

- Genaue Arbeit
 - Augenchirurgie(Lasik)⁷
 - Industrie



⁷<http://www.physik.hu-berlin.de/qom/lehre/ss09laser>

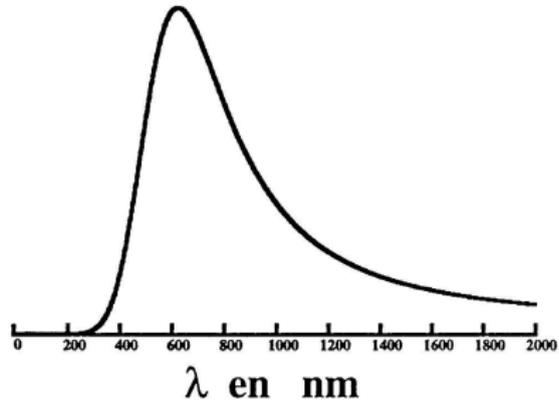
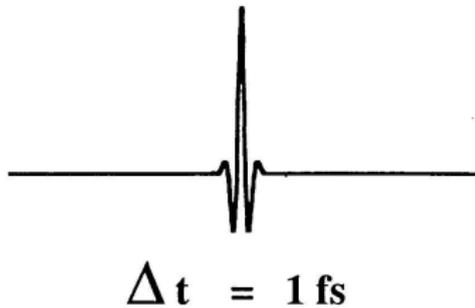
Anwendungen

- “Femtochemie”
 - Möglichkeit von Beweisung der Hypothesen von “intermediary states”
 - Pump/sonde experiments

High harmonics generation

huh, es wirkt nur auf die Frequenz der Welle, oder?

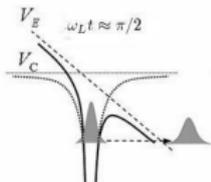
■ $e^{i\omega t} = \exp\left(\frac{2i\pi c}{\lambda}\right)$



- Bild: D. Hulin, *Applications des impulsions lasers ultra-brèves*

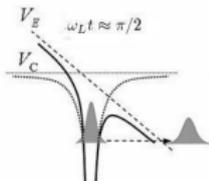
- Qualitative Einführung

- Qualitative Einführung

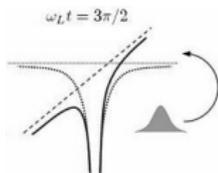


- Das Laserfeld fängt mit Tunnelionisation des Elektrones an.

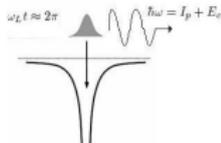
- Qualitative Einführung



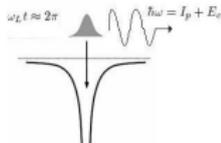
- Das Laserfeld fängt mit Tunnelionisation des Elektrones an.



- Das Elektron erhält kinematische Energie in dem er sich im Laserfeld bewegt.



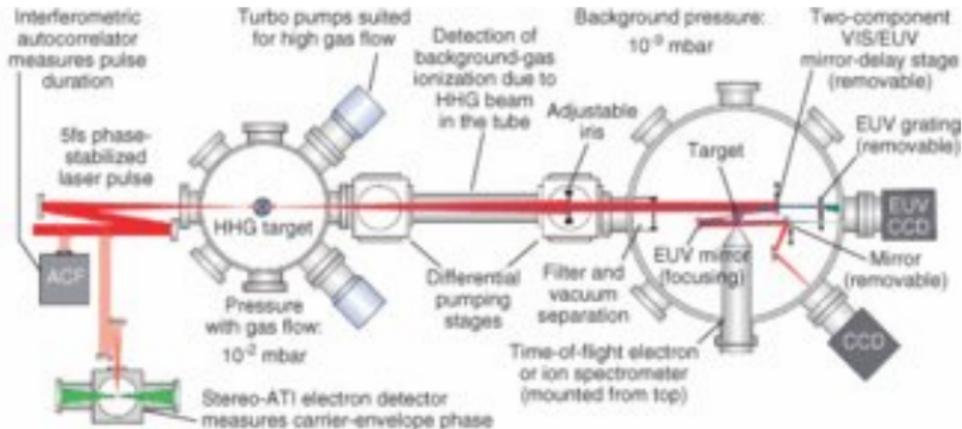
- Das Elektron kann wieder mit seinem Ion rekombinieren. Dann erzeugt es ein Photon, deren Energie die Summe der Ionisationsenergie und der Energie, die das Elektron im Continuum bekommen hat ist.



- Das Elektron kann wieder mit seinem Ion rekombinieren. Dann erzeugt es ein Photon, deren Energie die Summe der Ionisationsenergie und der Energie, die das Elektron im Continuum bekommen hat ist.
- Charakterische Zeit solcher Rekombinationen ist kleiner als eine Femtosekunde⁸
 - damit bekommt man einen Attosekundimpuls!

⁸<http://www.attoworld.de/attoworld/attosecpulses.html#>

Wie?



- Die “kurzen” Frequenzen werden am Eingang der zweiten Vakuumzelle gefiltert. Die zweite Zelle wird auch benutzt um Anwendungsexperimenten zu bauen.
- Bild: M. Uiberacker et al., Nature 446, 627. 5 April 2007. (doi:10.1038/nature05648)

Anwendung?

- Elektronenwellenpakete Dynamik⁹
 - Chemie
 - Festkörperphysik

⁹<http://www.attoworld.de/attoworld/attosecrecelecemission.html> 

Ich bedanke mich bei Ihnen für Ihre
Aufmerksamkeit

Fragenzeit!