

Weihnachtsvorlesung



Mittwoch, 20.12.2017

16:00 Uhr

Wolfgang-Pauli-Hörsaal
(HS I)

Prof. Wolfgang Hillert
Institut für Experimentalphysik

FEL: Der neue Stern von Bethlehem?

Anschließend:
Kaffee und
Kuchen

Der Weihnachtsmann ist auf der Suche nach passenden Geschenken für das Weihnachtsfest. Doch wie bekommt er heraus, was die Leute sich wirklich wünschen? Gedanken müsste man lesen können, oder – science fiction? – per Gehirndurchleuchtung und Analyse der dort ablaufenden Prozesse die Wünsche abfotografieren. Das ginge vielleicht mit kohärenter Röntgenstrahlung und kurzen Pulsen, um Veränderungen in Molekülverbindungen und damit die Gedanken und Wünsche in den Gehirnzellen zu detektieren. Doch wie kommt der Weihnachtsmann an die Wunderstrahlung? Wollen wir ihm helfen? Vielleicht mit einem Freie-Elektronen-Laser (FEL)?

I'm dreaming of a white Christmas
just like the ones I used to know
where the tree tops glisten
and children listen to hear
sleigh bells in the snow
I'm dreaming of a white Christmas
with ev'ry Christmascard I write
may your days be merry and bright
and may all your Christmasses be
WHITE!

ZZzzz....



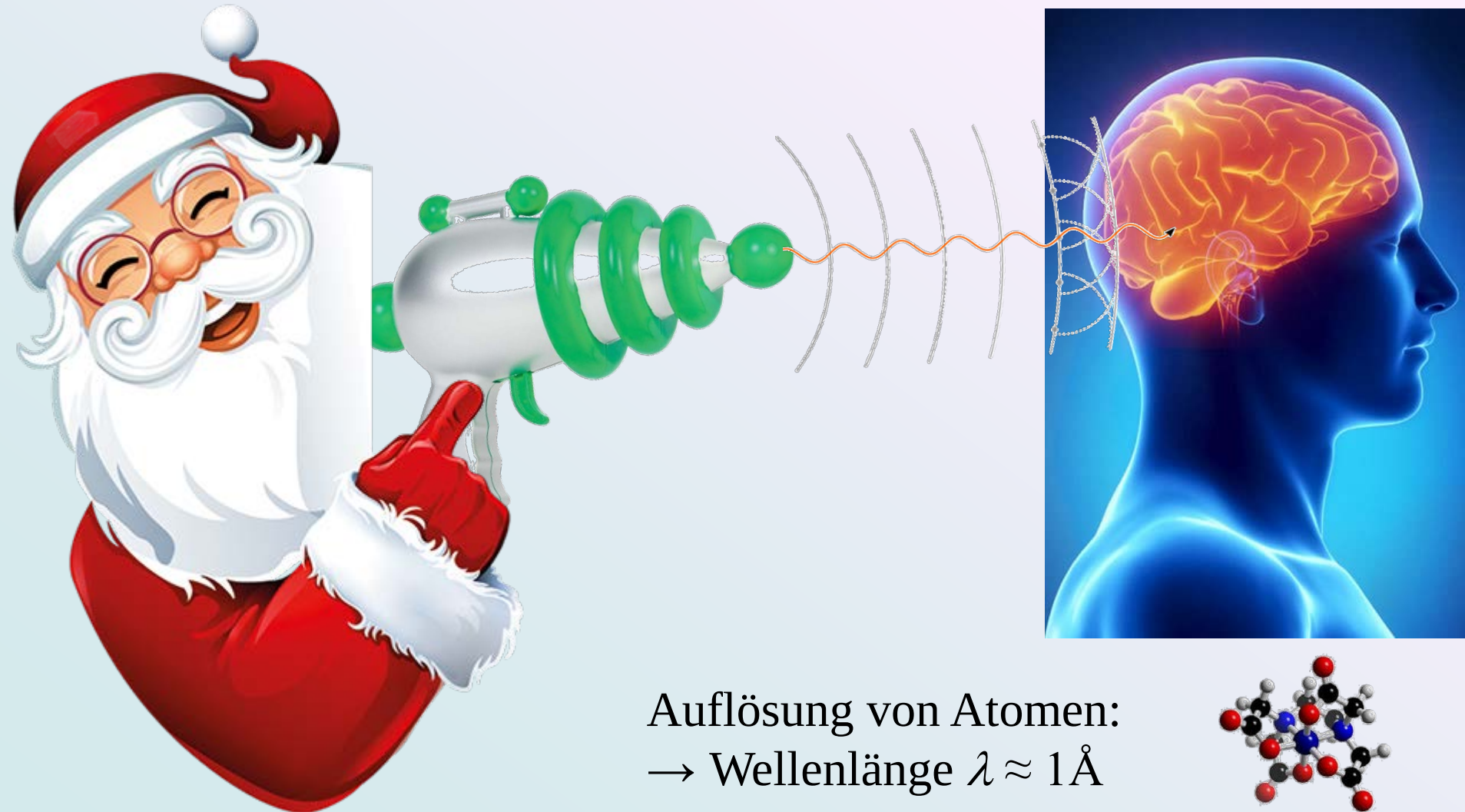


Fachmännische
Beratung wäre
jetzt gut ...

Fach“männische“ Beratung

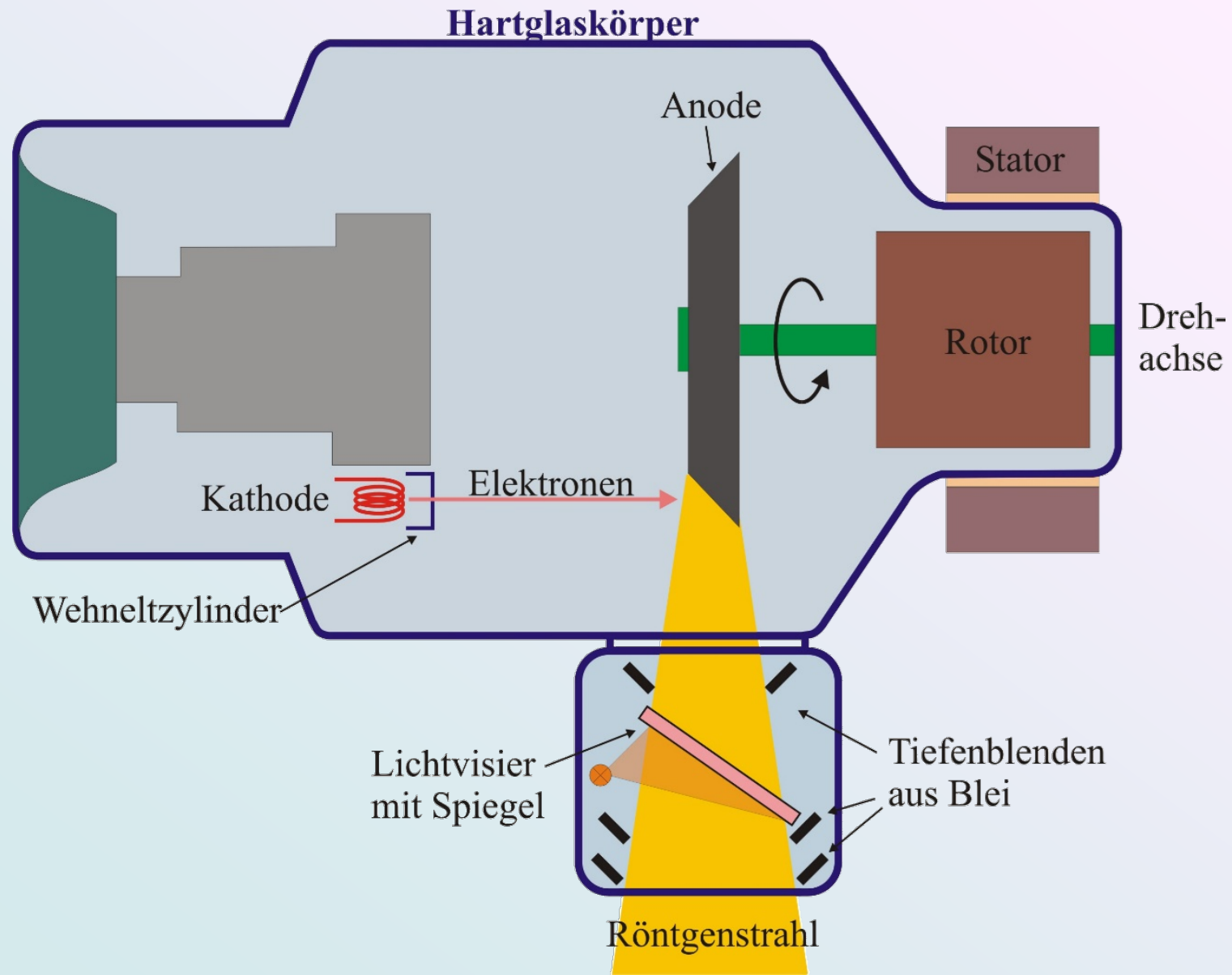


Wunschdenken:





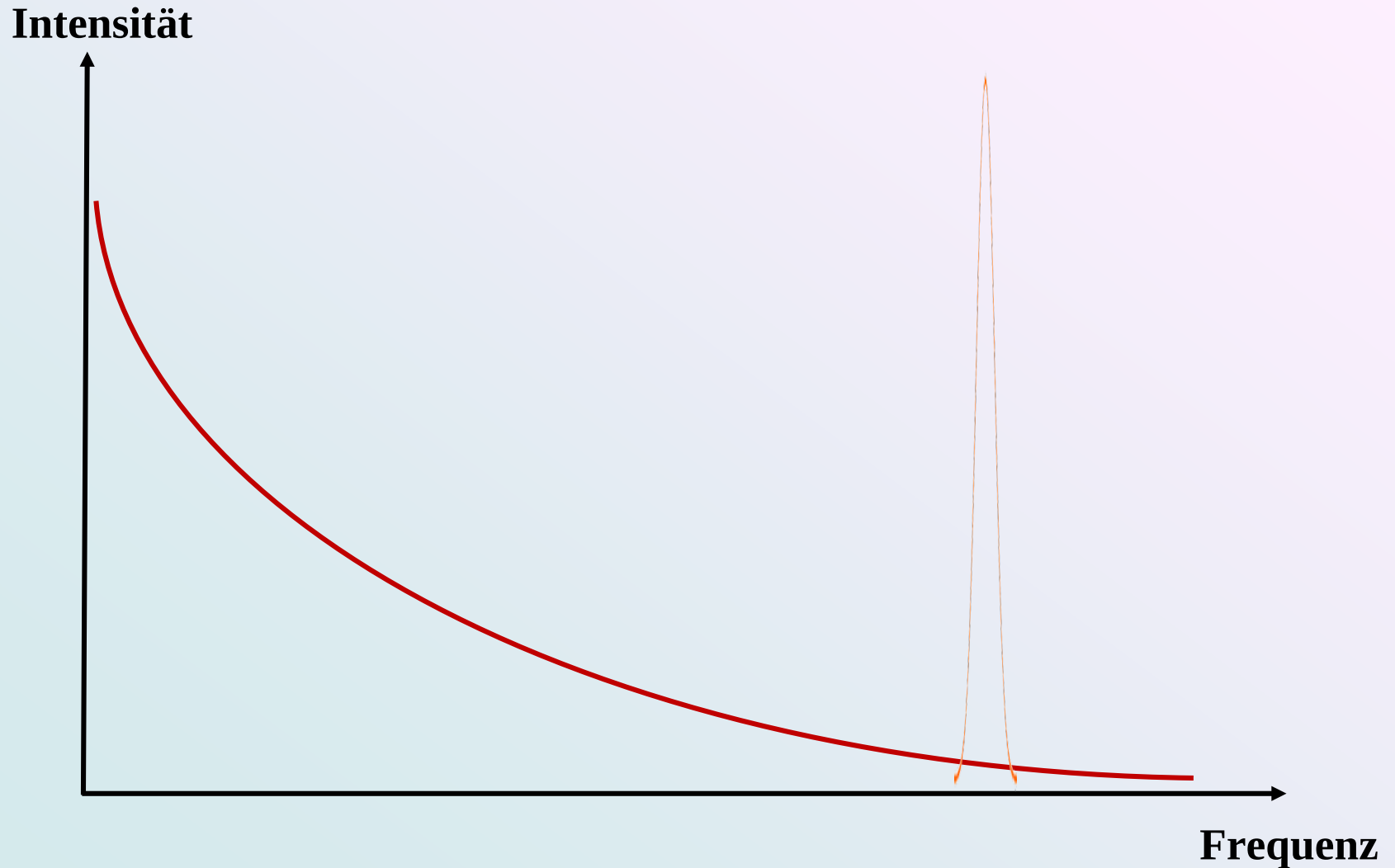
Erzeugung von Röntgenstrahlung



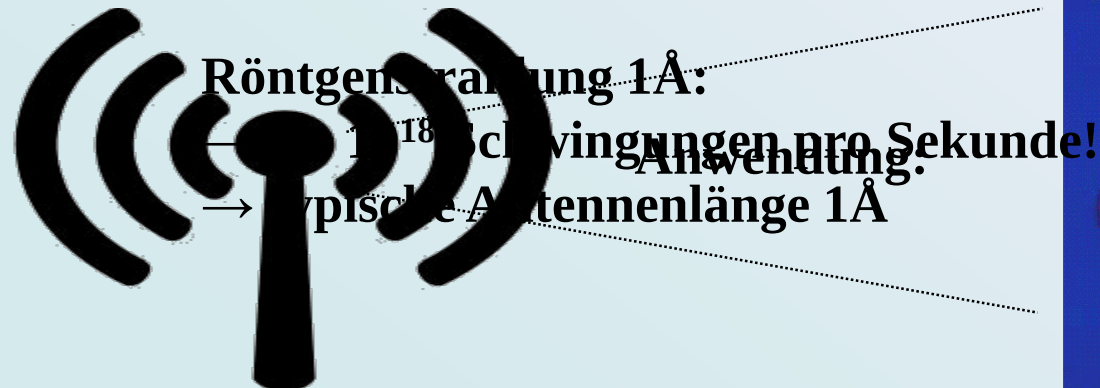
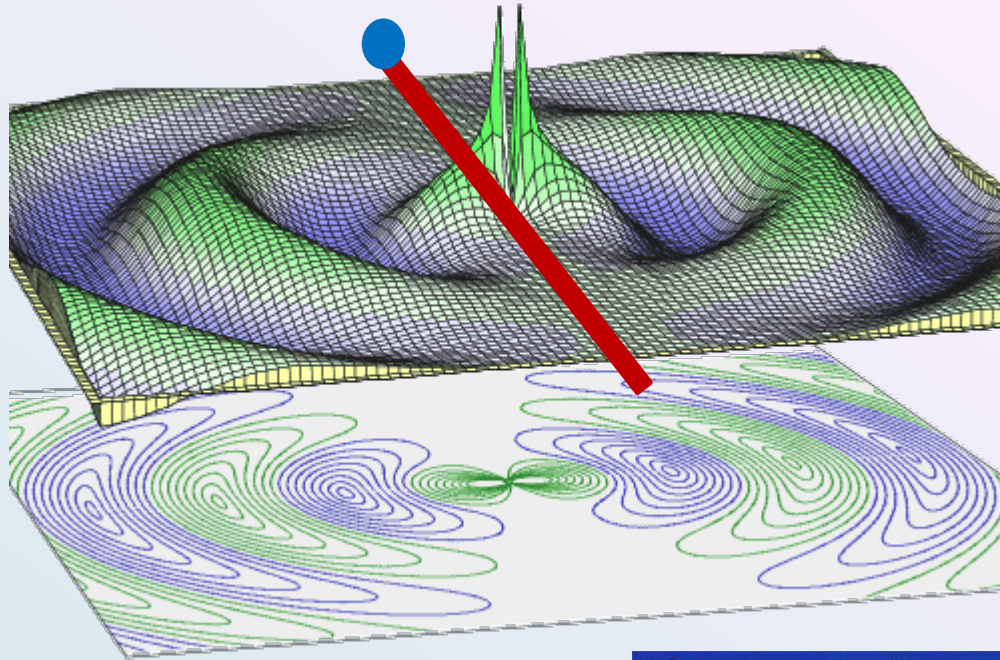
Eigenschaften der Bremsstrahlung



Strahlungsspektrum



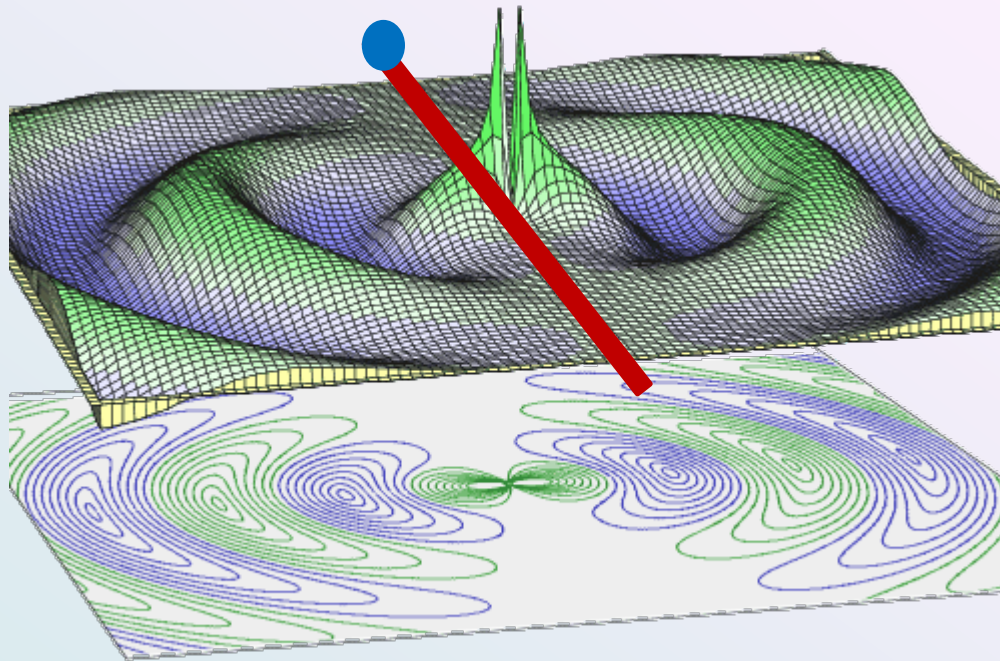
Abstrahlung elektromagnetischer Wellen: **Antenne!**



Aber ...



Abstrahlung höherer Frequenzen: **Antenne!**



Röntgenstrahlung $1\text{\AA}$:

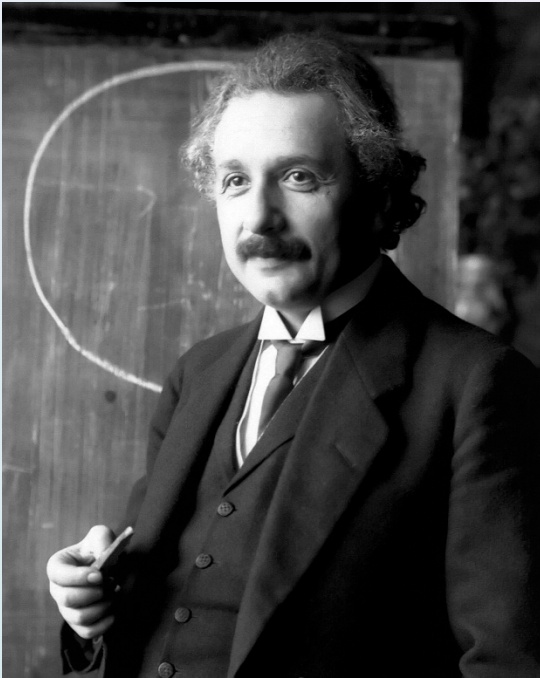
→ ca. 10^{18} Schwingungen pro Sekunde!

→ typische Antennenlänge $1\text{\AA}$

Warum bewegen wir nicht die Antenne??



Einstein hilft ...



Albert Einstein 1921

Spezielle Relativitätstheorie (1905)

$$E = m \cdot c^2$$

und $c = \text{konstant!!}$

...etwas genauer:

- Elektron in Ruhe: $E = m_0 \cdot c^2$
- Elektron in Bewegung: $E = \gamma \cdot m_0 \cdot c^2$

Dies hat nun 2 entscheidende Auswirkungen:

- a) Lorentz-Kontraktion
- b) relativistischer Doppler-Effekt

Die bewegte „Antenne“

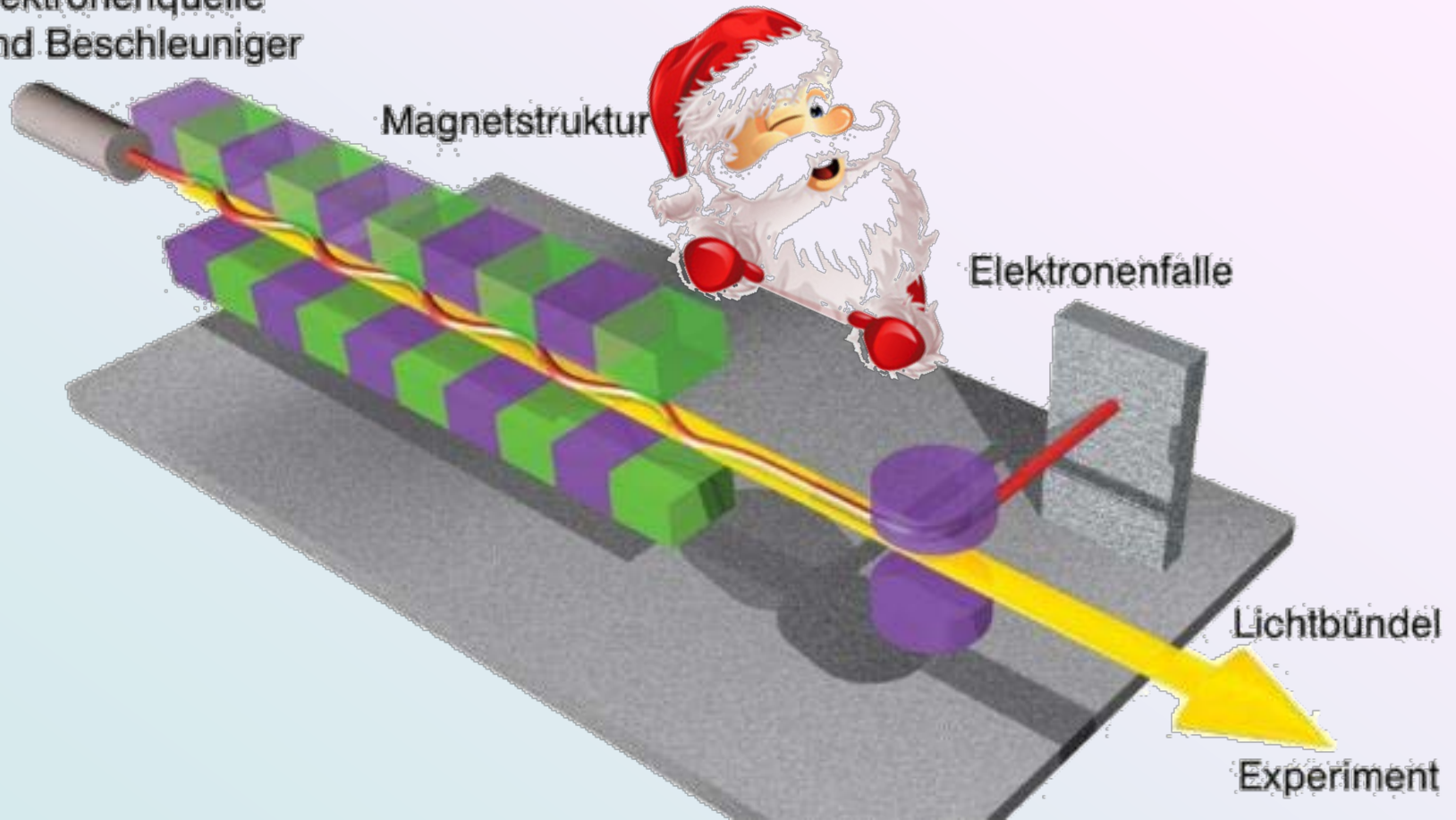
Elektronenquelle
und Beschleuniger

Magnetstruktur

Elektronenfalle

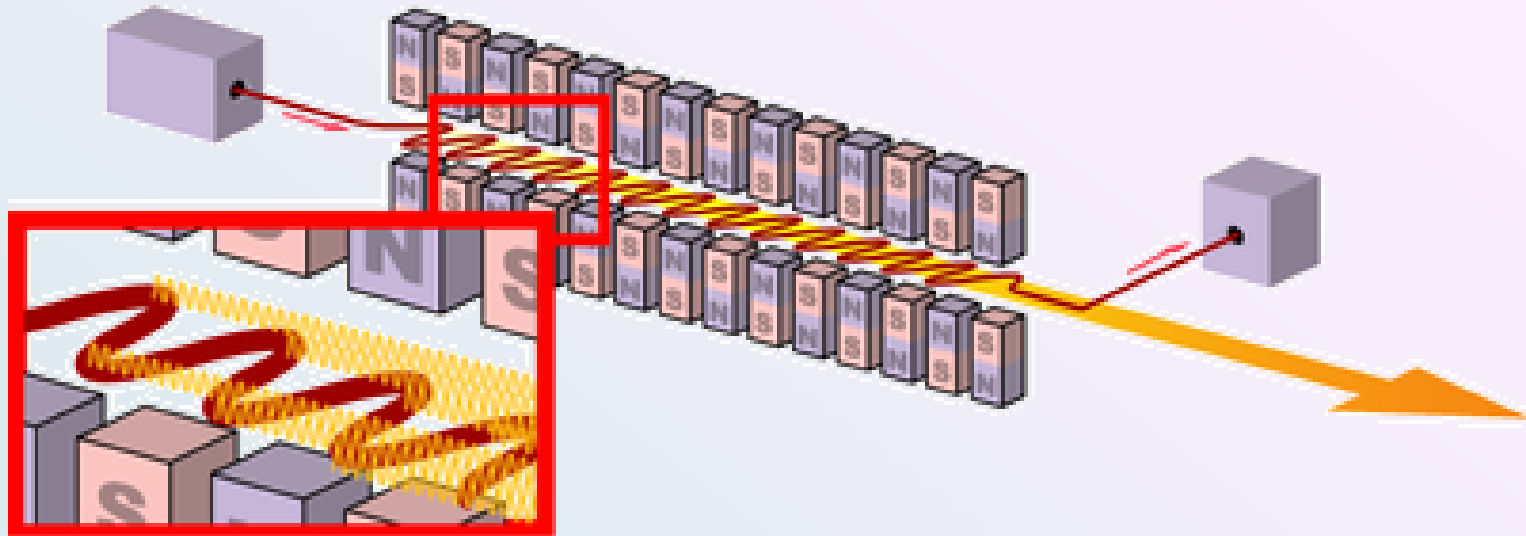
Lichtbündel

Experiment



= Schwingung freier Elektronen!

Undulatorstrahlung



a) das Elektron sieht eine verkürzte Magnetstruktur:

$$\lambda_u \rightarrow \lambda_u / \gamma$$

b) die ausgesandte Strahlung ist kurzwelliger:

$$\lambda_L \rightarrow \lambda_L / 2\gamma$$

... und es wird eine enge Strahlungskeule erzeugt!

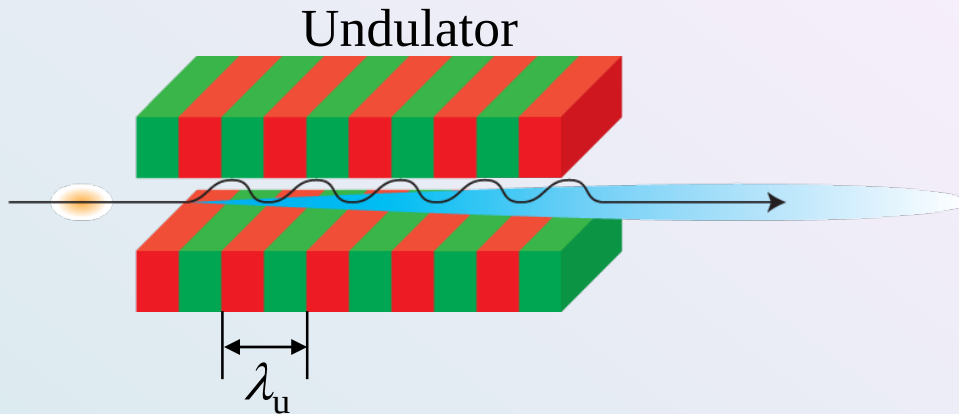
$$\lambda_x = \frac{1}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \cdot \lambda_u$$



XFEL-Undulator



Beschleunigung



$$\lambda_x = \frac{1}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \cdot \lambda_u$$

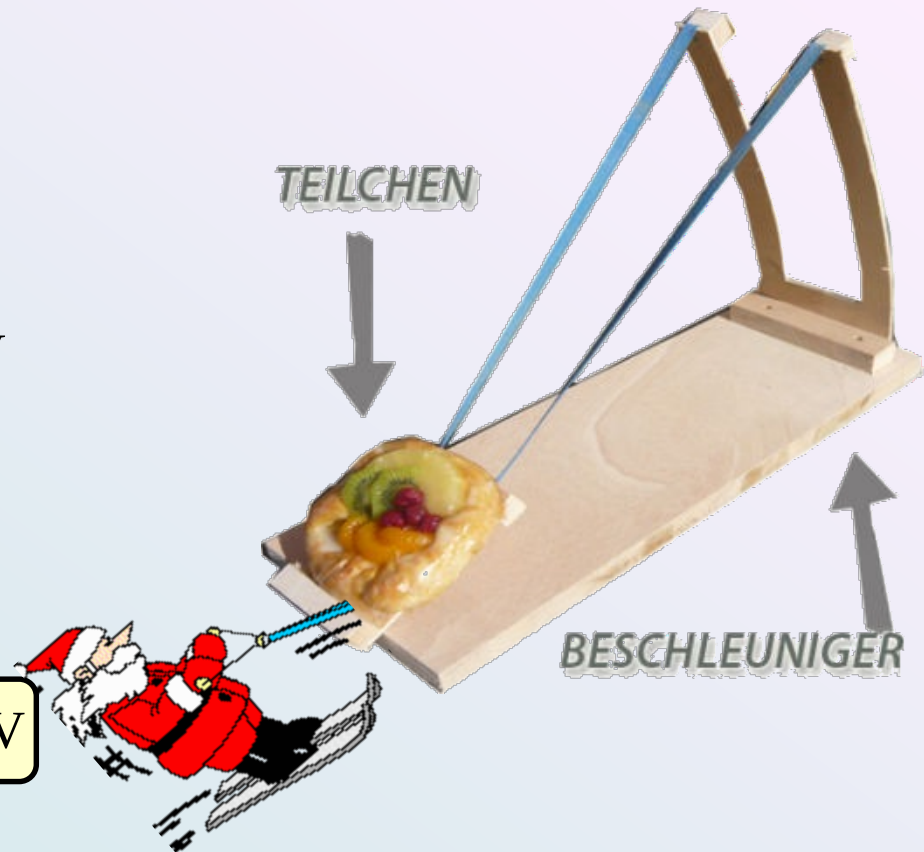
Wir haben:

- Undulatorperiode: $\lambda_u \approx 10^{-2} \text{ m}$
- Ruheenergie Elektron: $m_0 c^2 \approx 5 \cdot 10^5 \text{ eV}$

Wir wollen:

- Röntgenstrahlung: $\lambda_L \approx 10^{-10} \text{ m}$
- Lorentzfaktor: $\gamma \approx 10^4$

► Energie Elektronen: $\gamma m_0 c^2 \approx 10^{10} \text{ eV}$

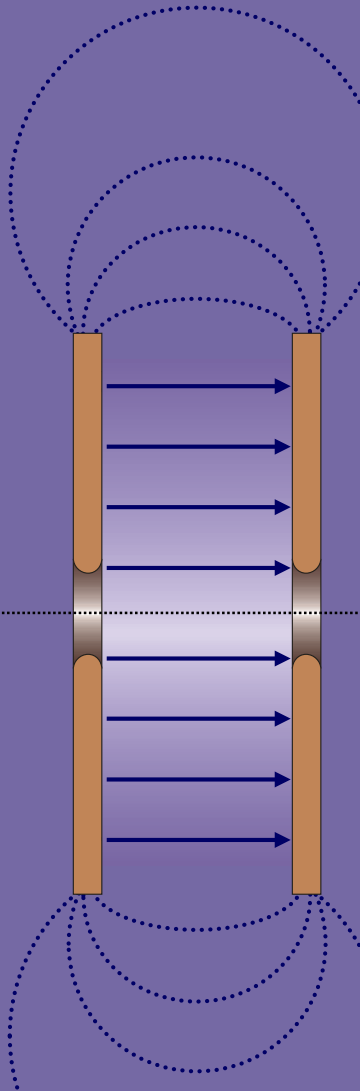


Statische Felder

$$\Delta W = e \cdot U$$

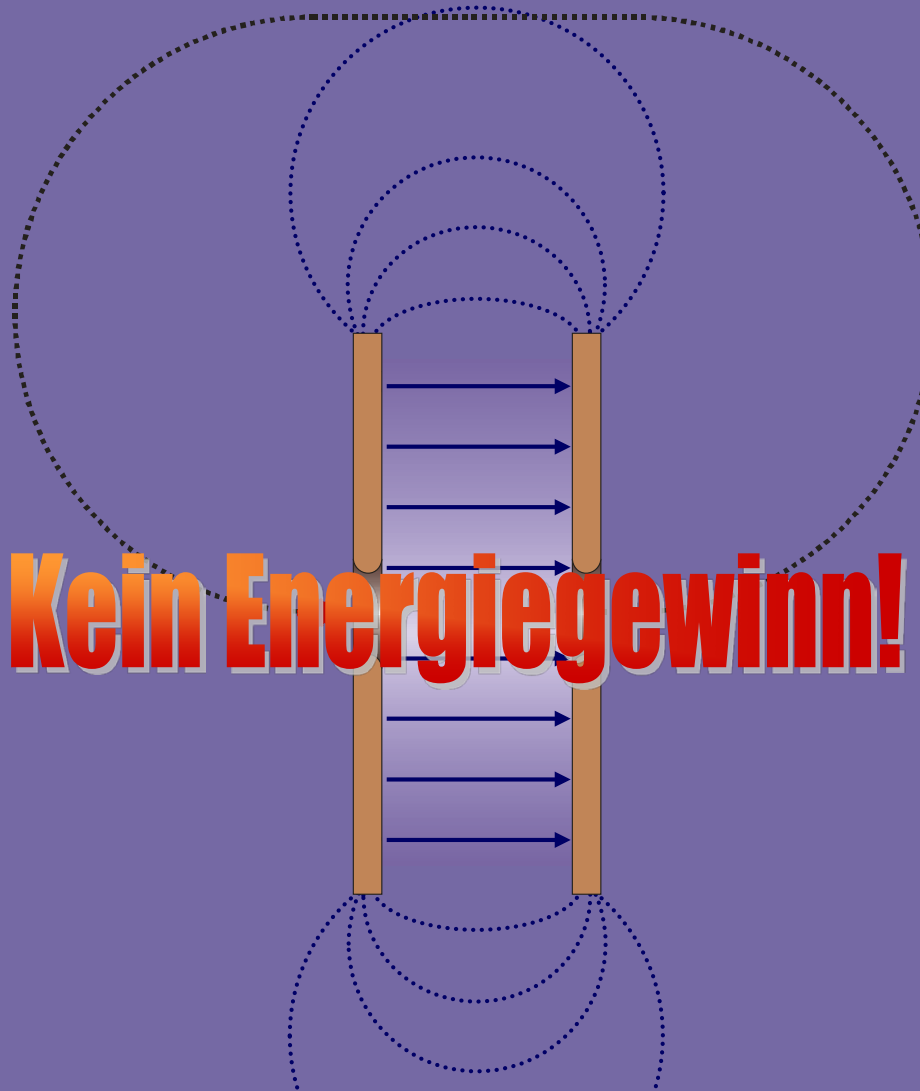
Einheit eV

Wir brauchen
 $E \geq 10 \text{ GeV} = 10^{10} \text{ eV}$





Statische Felder



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

Kein Energiegewinn!

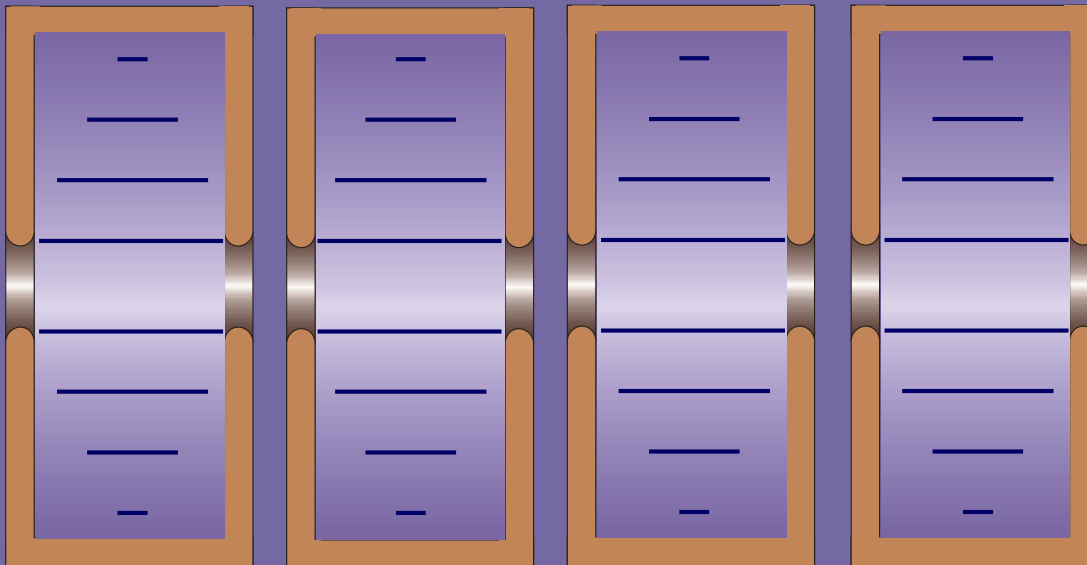
HF – Wechselfelder



**Energiegewinn bei
Synchronisation!**



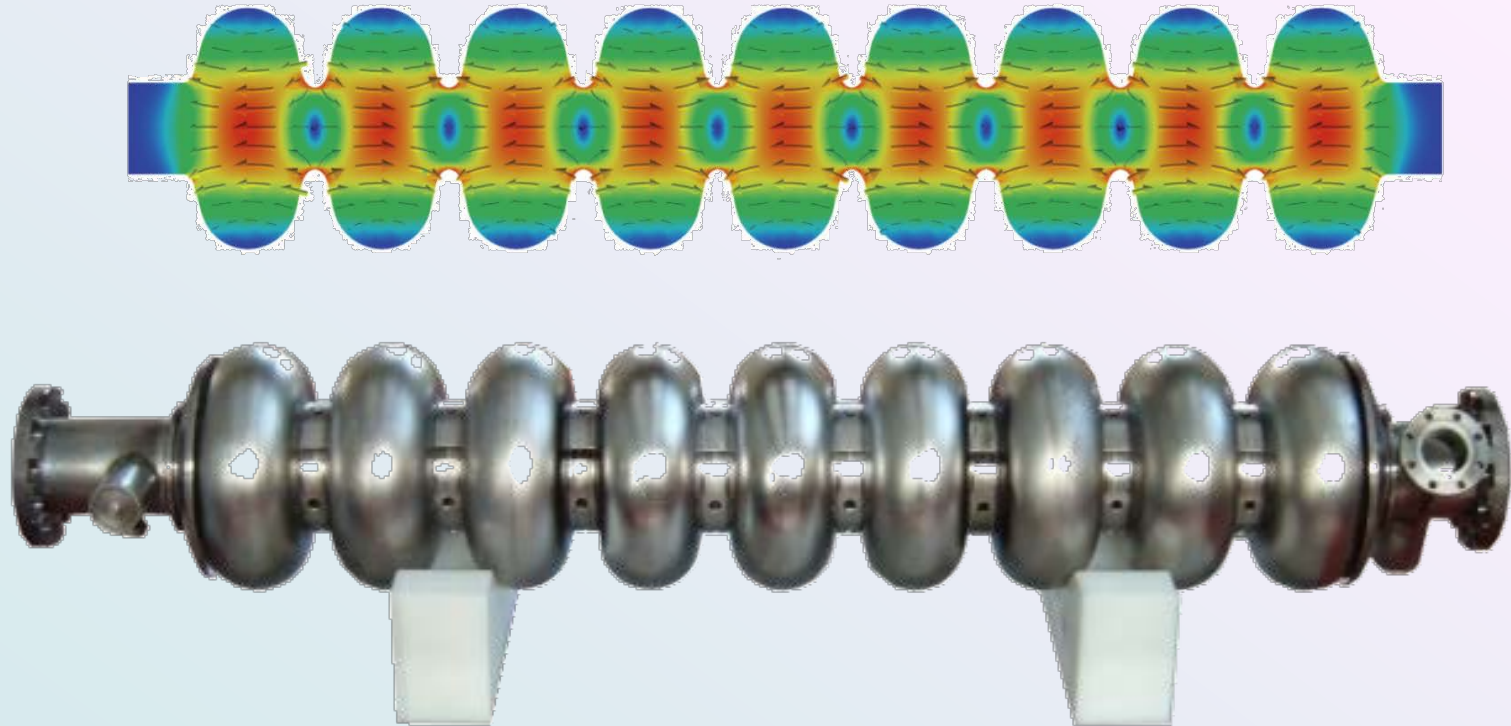
HF – Wechselfelder



$4eU$



Tesla-Kavität



1.300.000.000 Schwingungen pro Sekunde!

also:

- Frequenz $f = 1,3 \text{ GHz}$
- Wellenlänge $\lambda \approx 23 \text{ cm}$

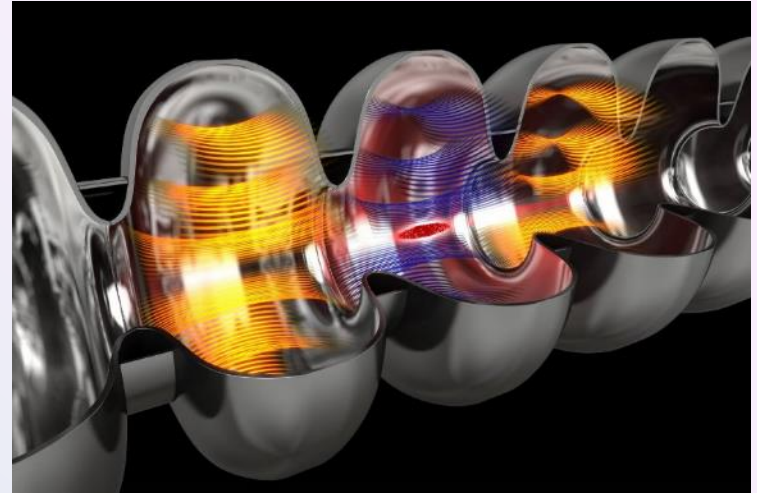
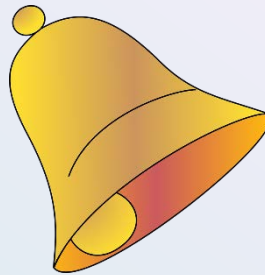
Tesla-Kavität

Lange Pulszüge:

→ Verringerung der Verluste

Glocke:

- $f \approx 100 - 500 \text{ Hz}$
 - Abklingdauer: Sekunden
- $Q \approx 1.000 - 10.000$

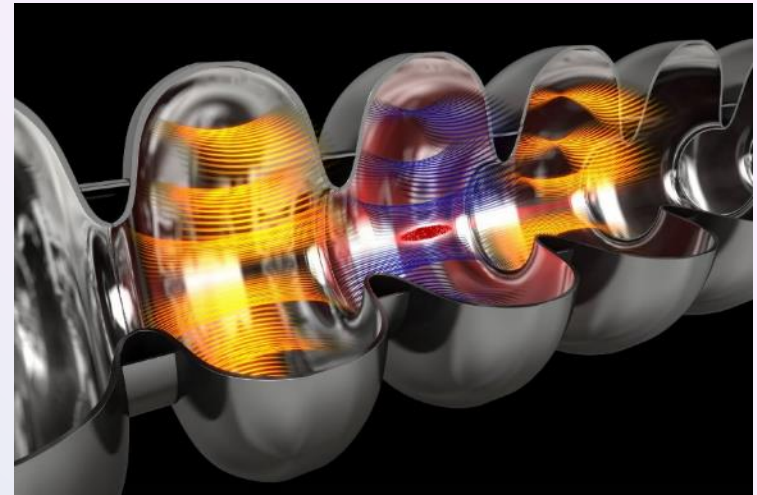
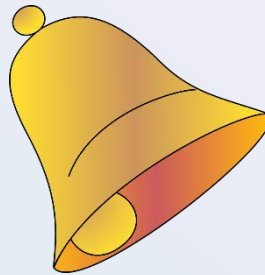
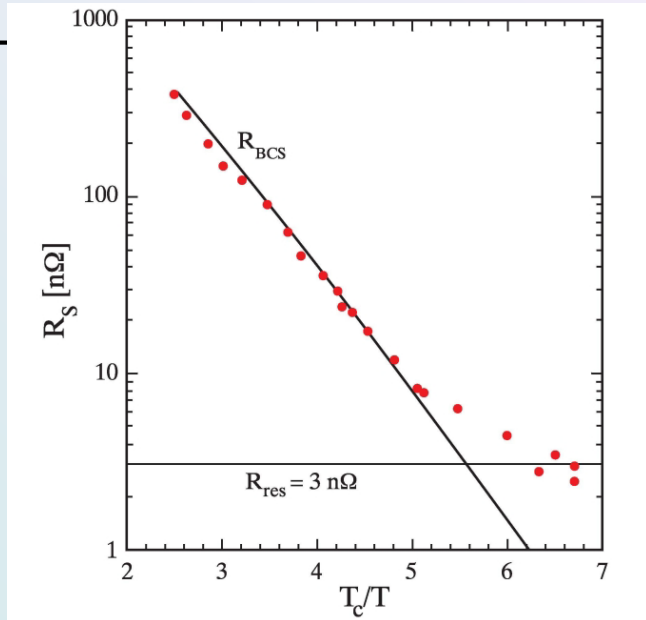


Beschleunigungskavität:

- $f \approx 1,3 \text{ GHz}$
- $Q \approx 10.000.000.000 = 10^{10} !!!$

Wie geht das???

Tesla-Kavität



Beschleunigungskavität:

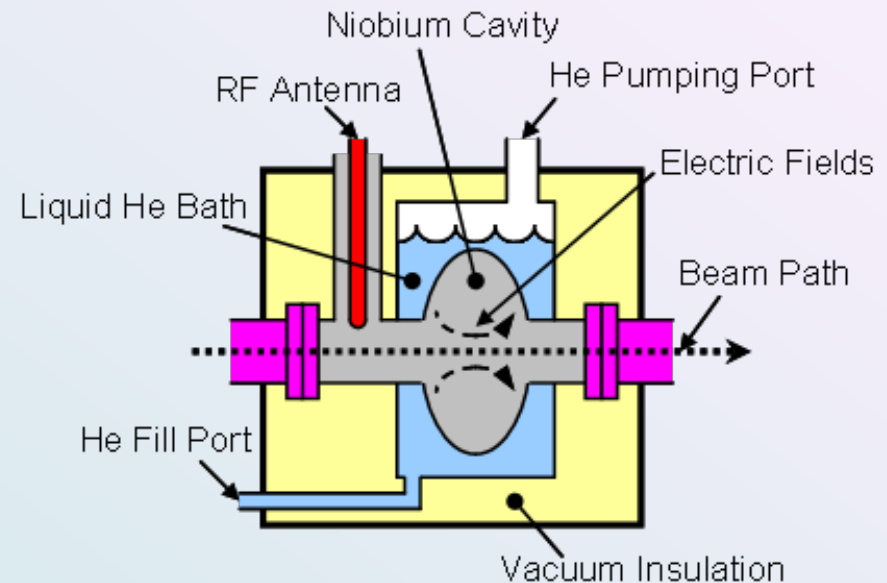
- $f \approx 1,3 \text{ GHz}$
- $Q \approx 10.000.000.000 = 10^{10} !!!$

Wie geht das???

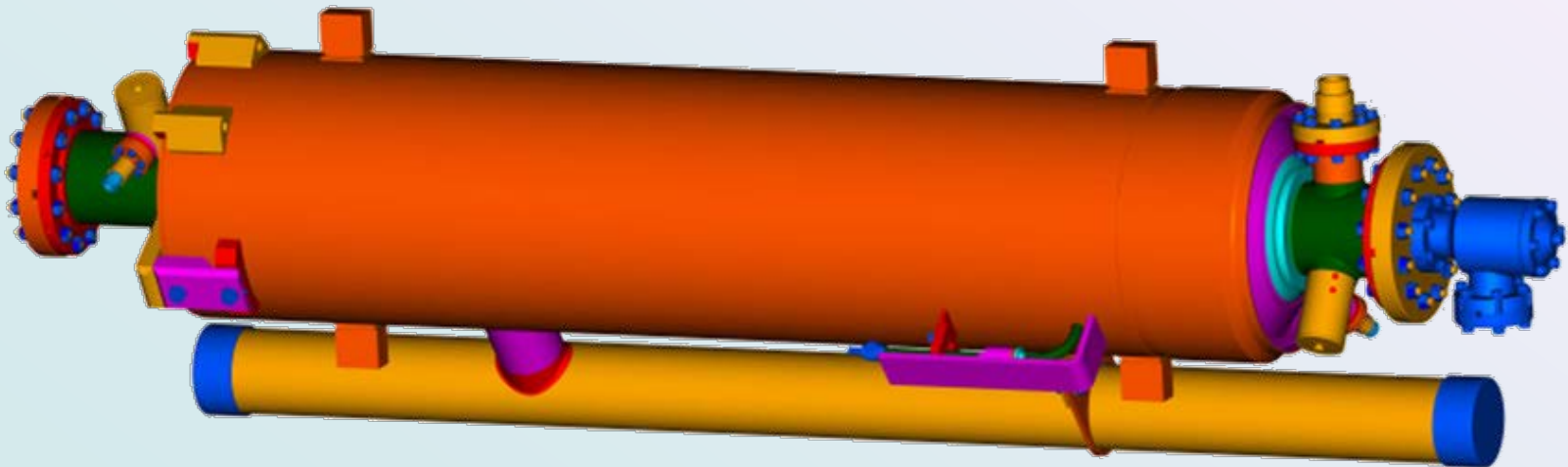
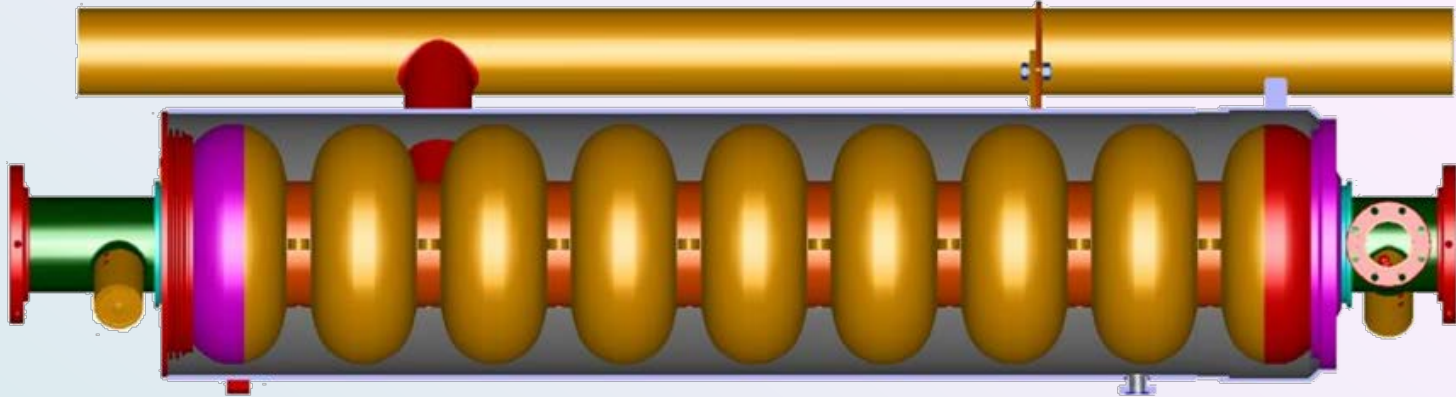
→ Wir müssen es kalt machen ...

... $T \approx -271^\circ\text{C}$!

Ausnutzung der Supraleitung: Niob

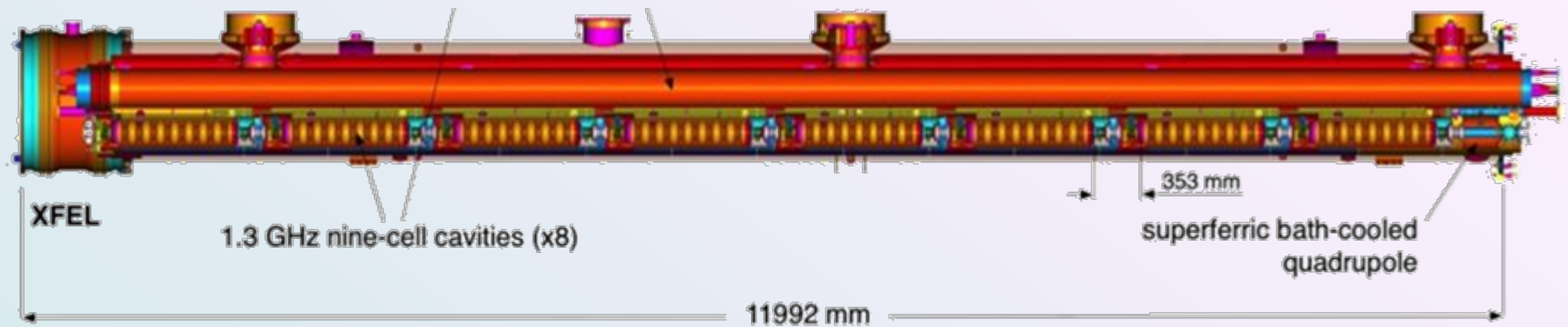


Gekühlte Kavität



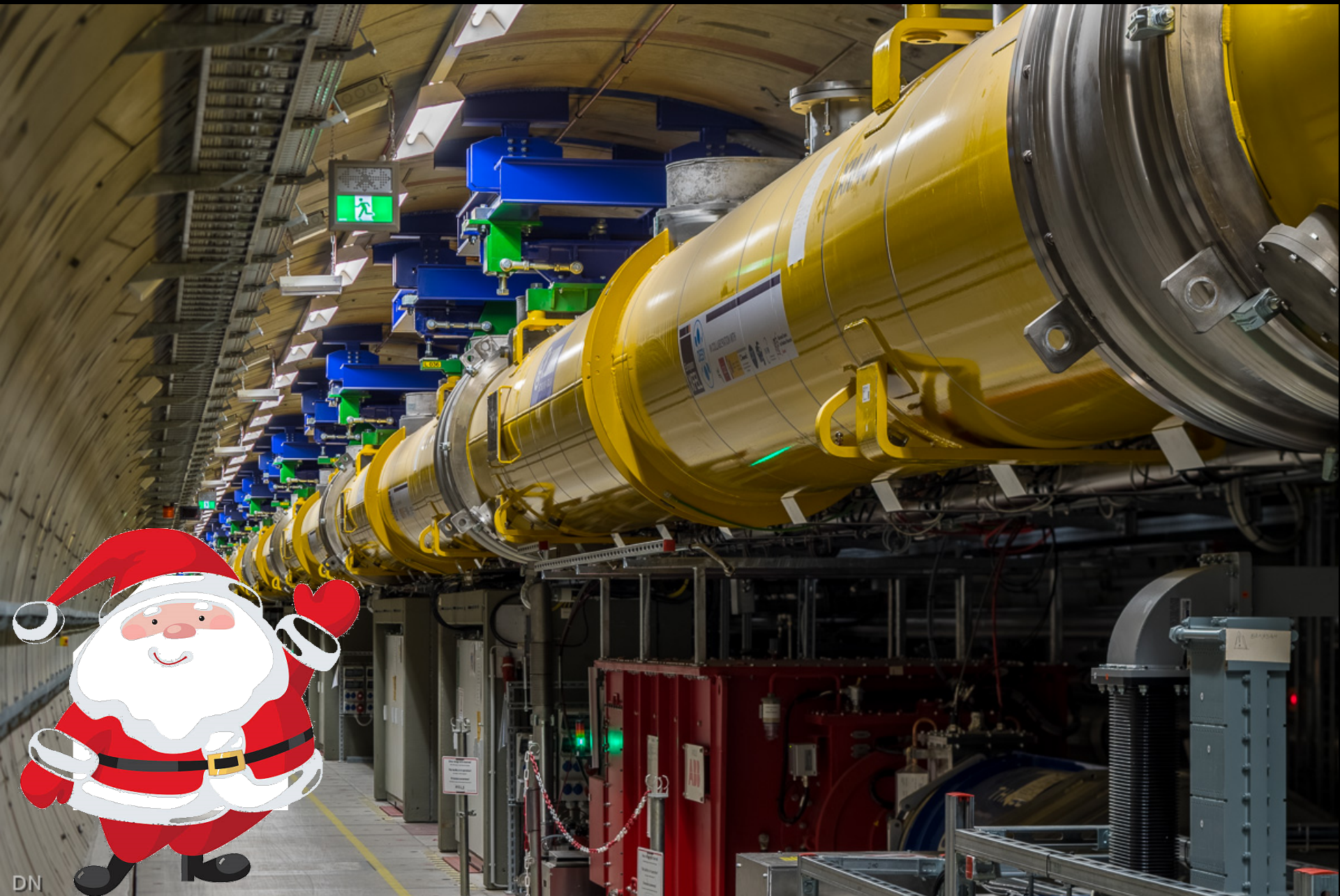


Zusammenbau



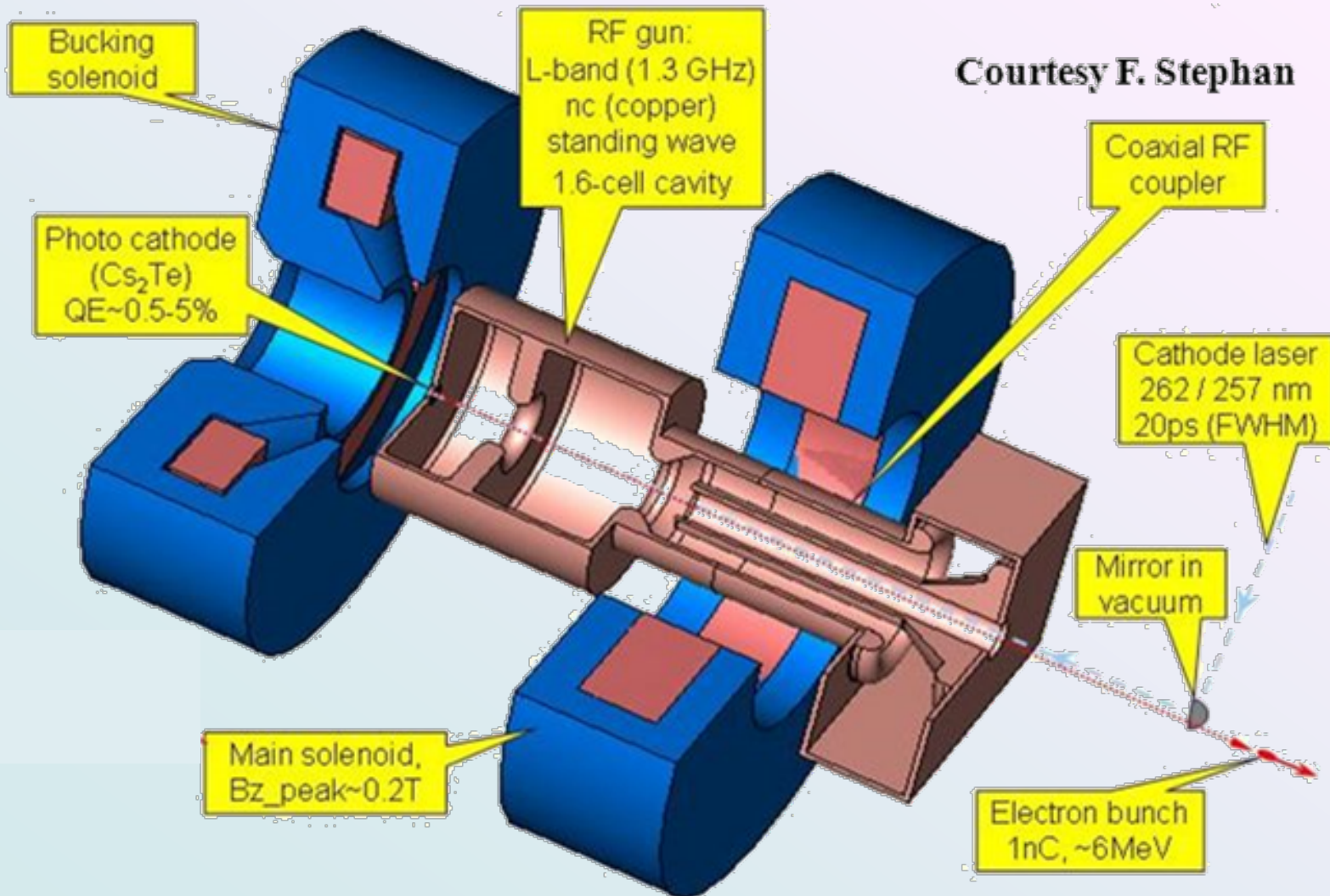


XFEL-Linac

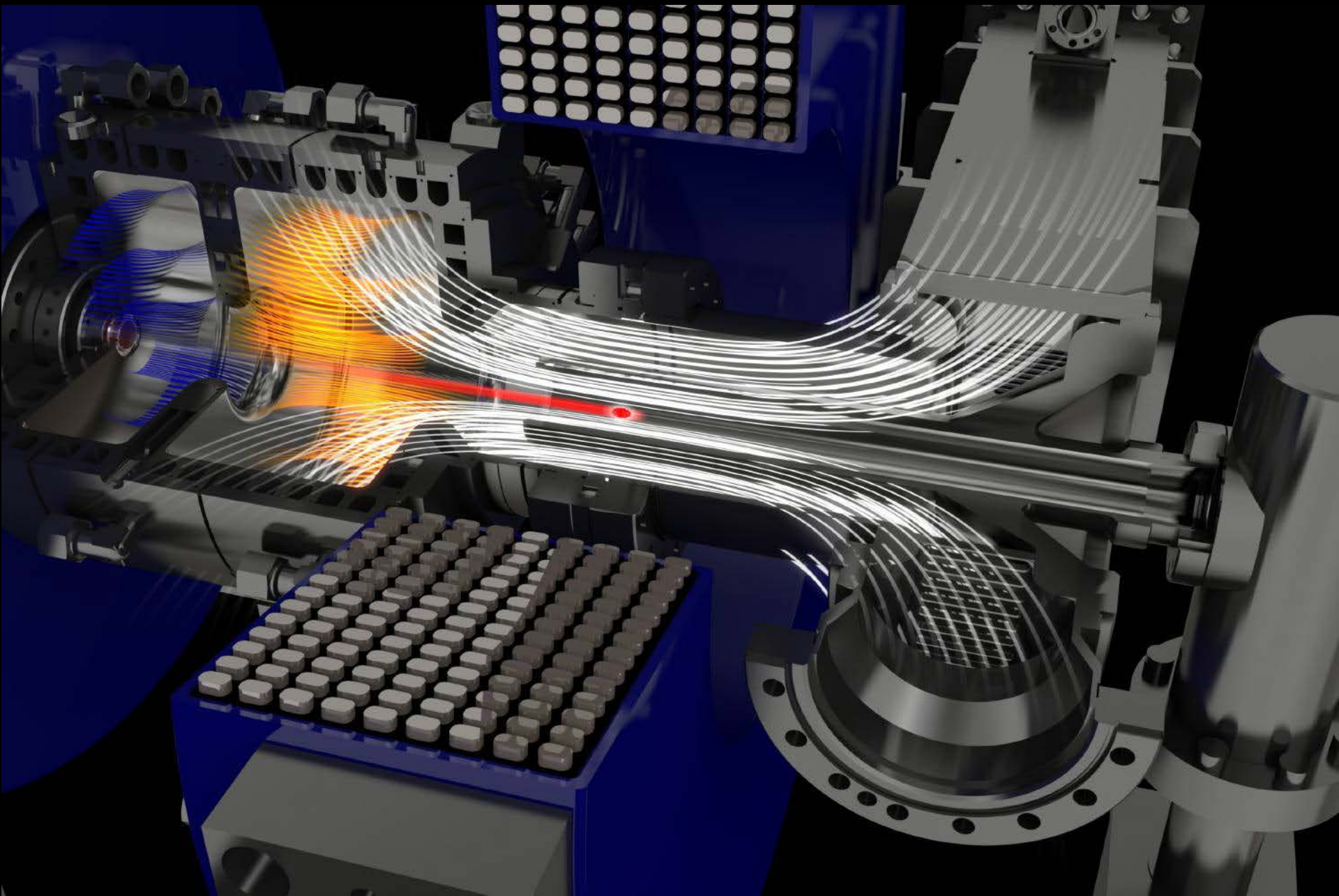


Schnürung von Paketen

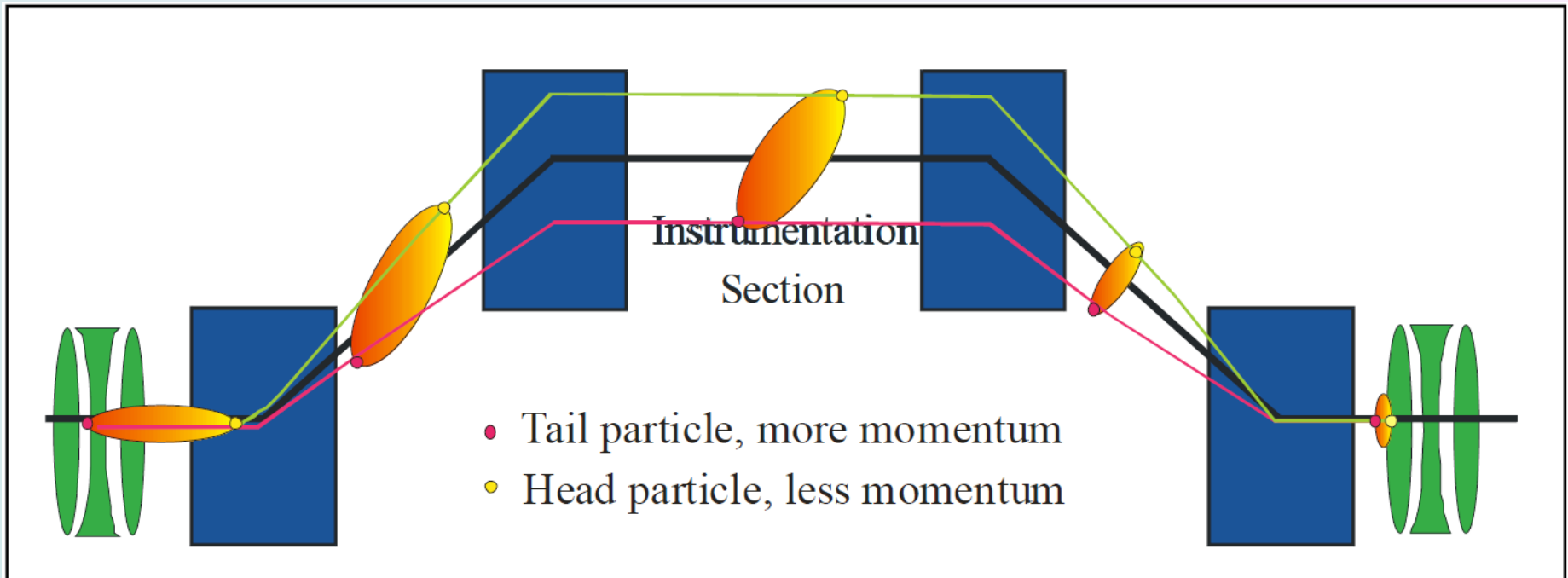
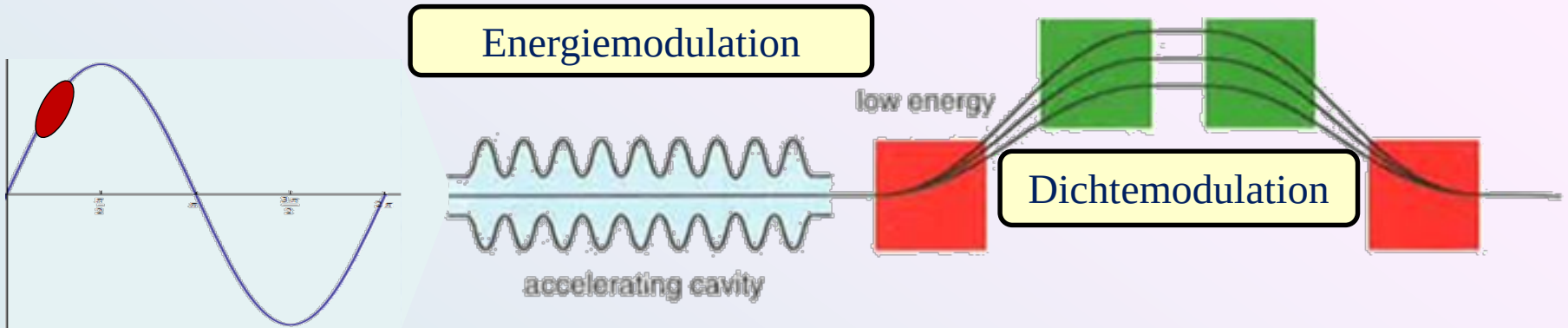
Courtesy F. Stephan



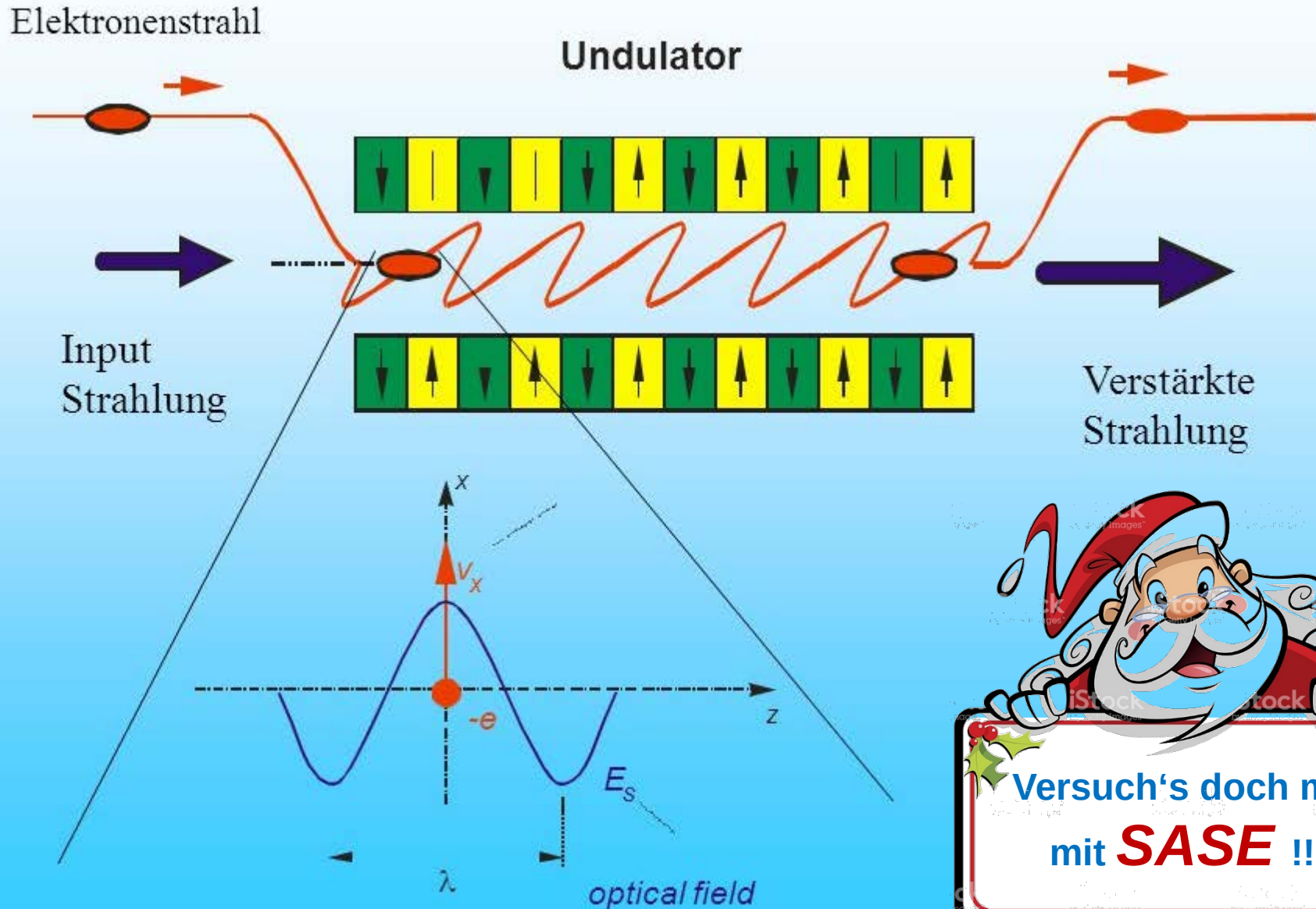
Elektronenkanone



Kürzere Pakete → Röntgenblitze



Noch mehr Röntgenlicht

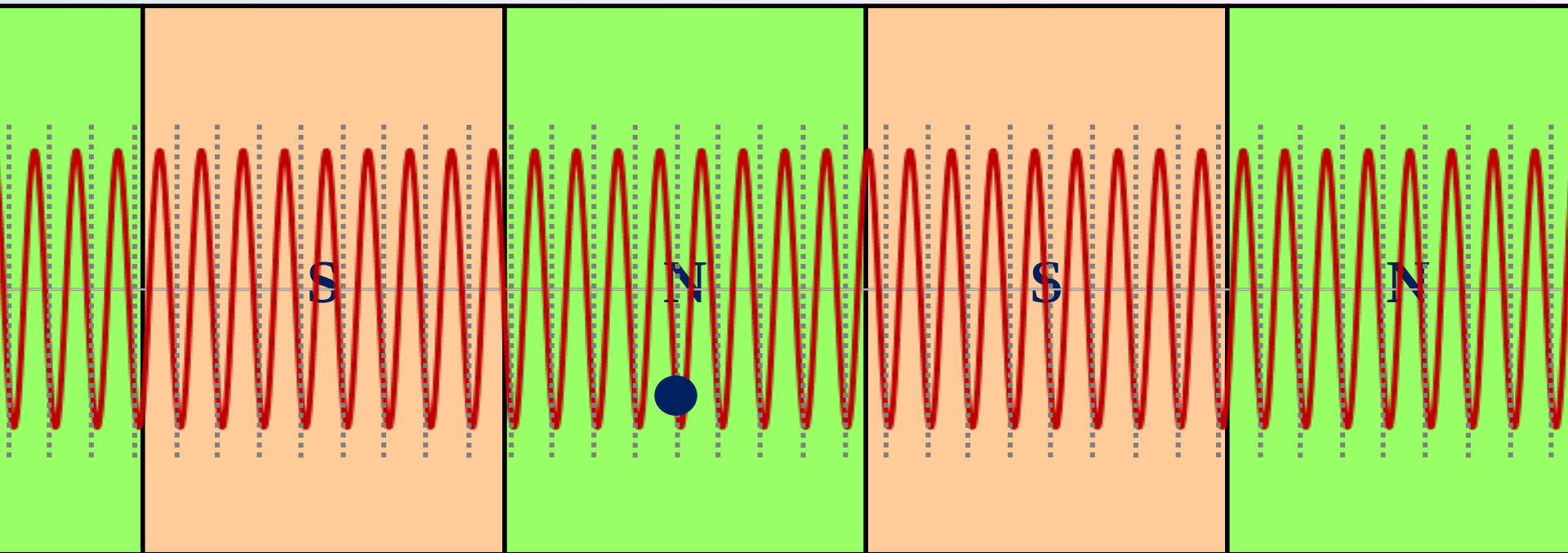




Noch mehr Röntgenlicht



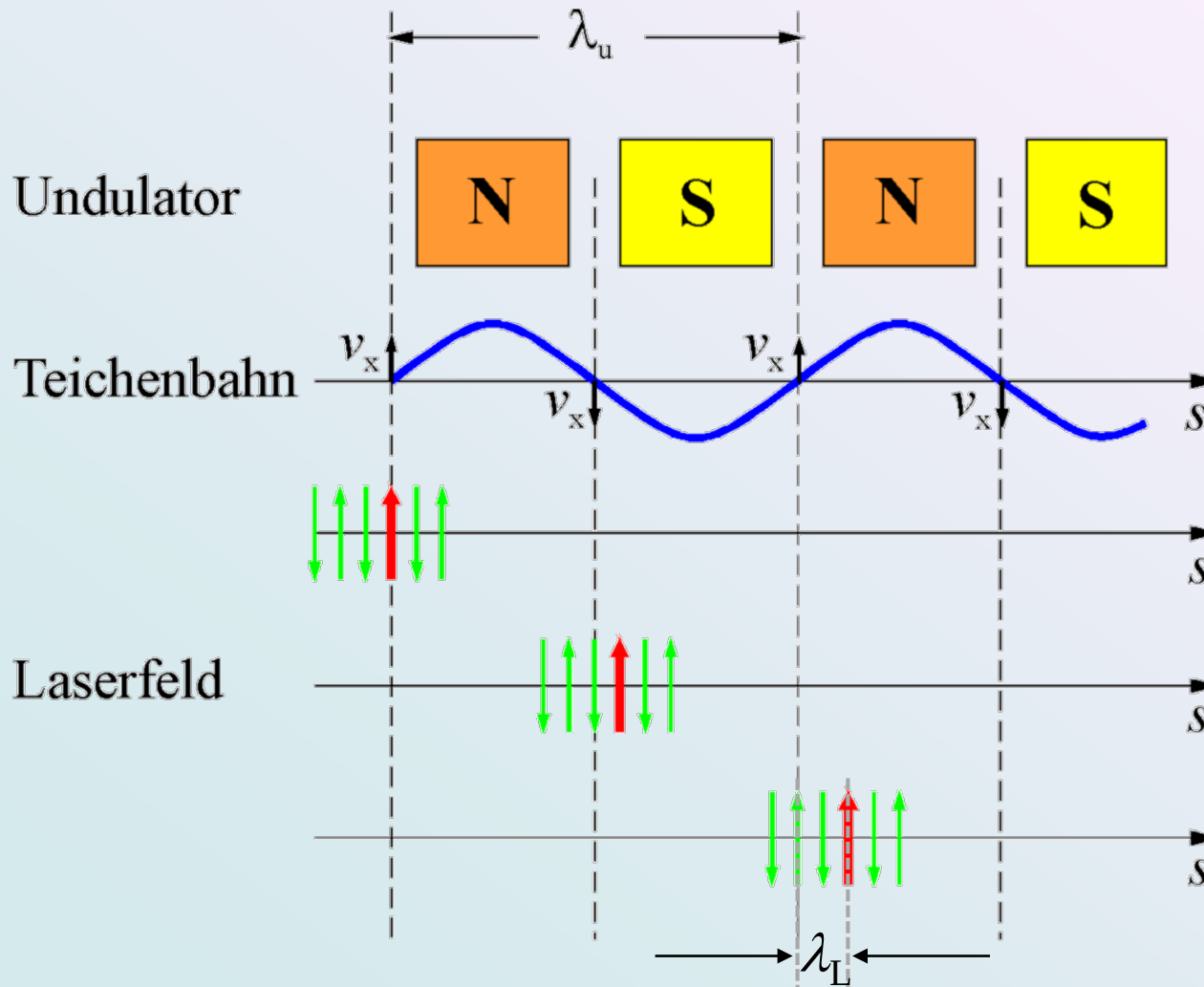
... mit zusätzlichem Röntgenlicht ...



... ein Elektron im Undulator ...

$$\lambda_x = \frac{1}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \cdot \lambda_u$$

Energieaustausch



Größenordnungen

Undulator: $\lambda_u \approx \text{cm}$

Bunch: $\sigma_b \approx \mu\text{m}$

Strahlung: $\lambda_L \approx \text{\AA}$

10^{-2} m



10^{-6} m



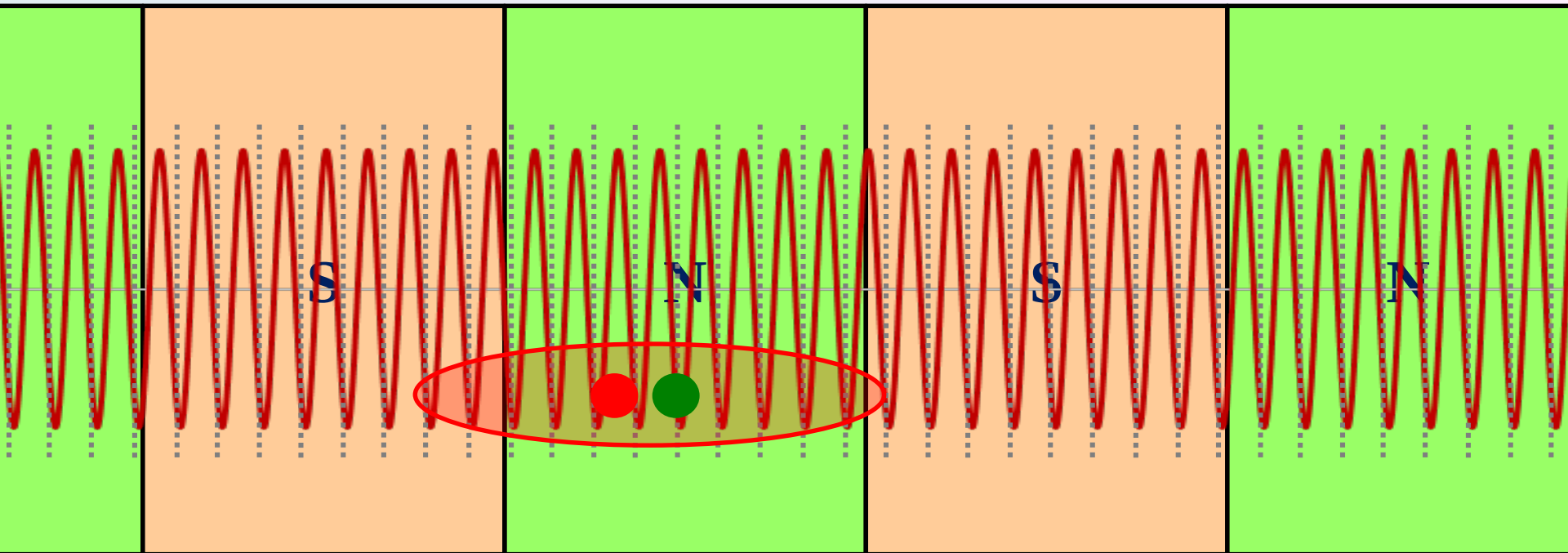
10^{-10} m



Noch mehr Röntgenlicht

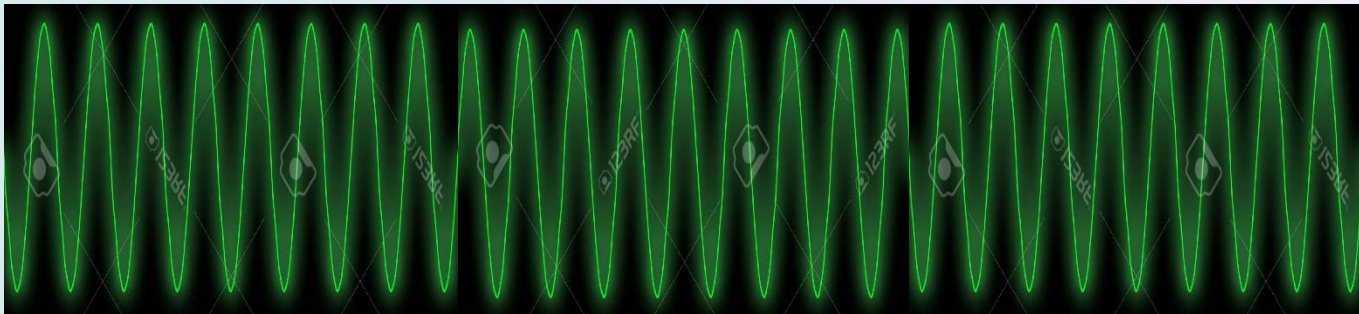
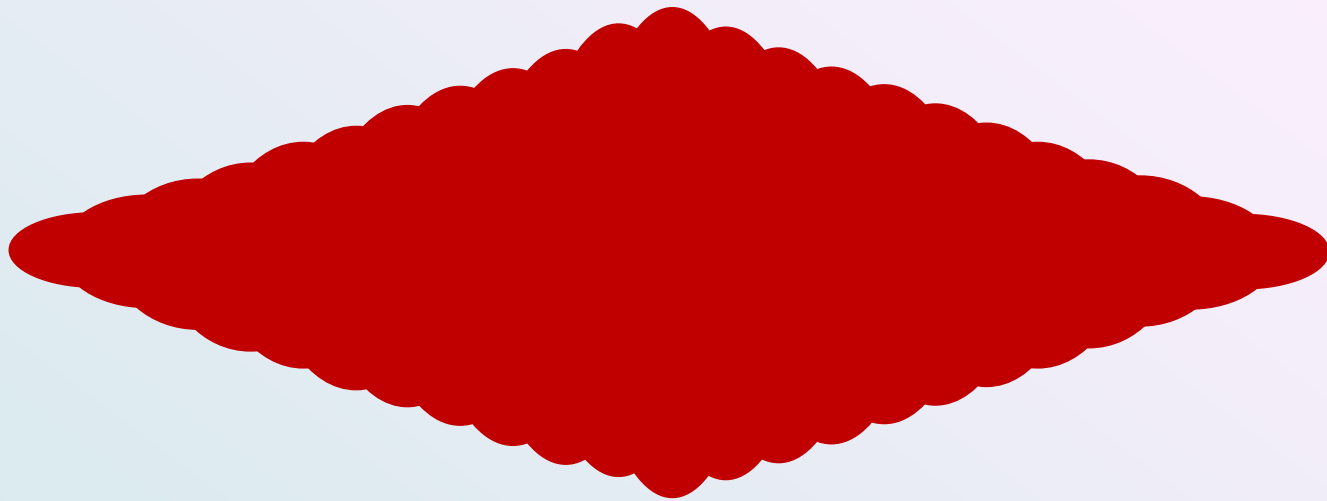


... mit zusätzlichem Röntgenlicht ...

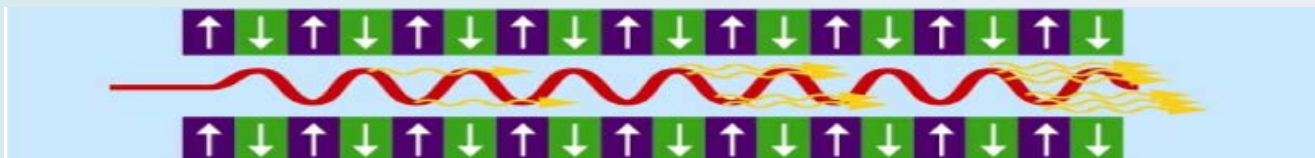
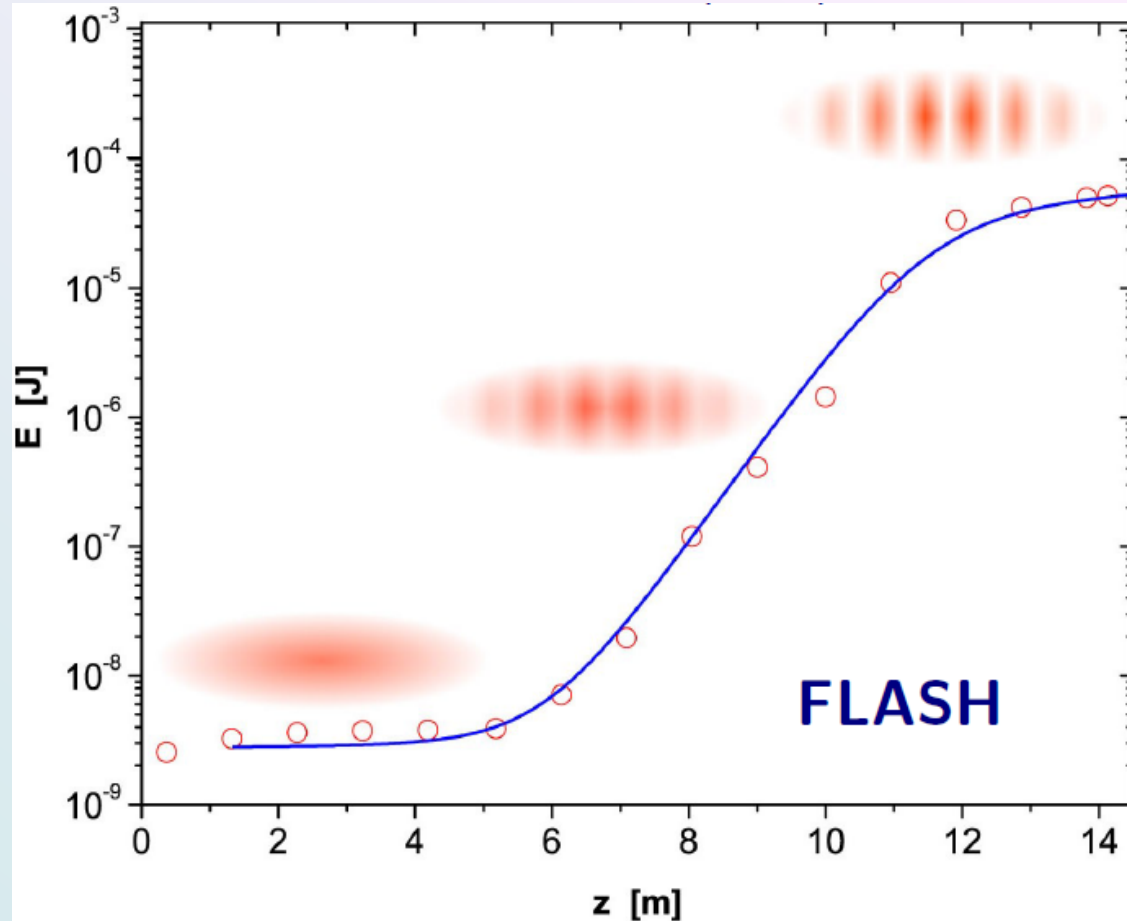


... ein Elektronenpaket im Undulator ...

Microbunching



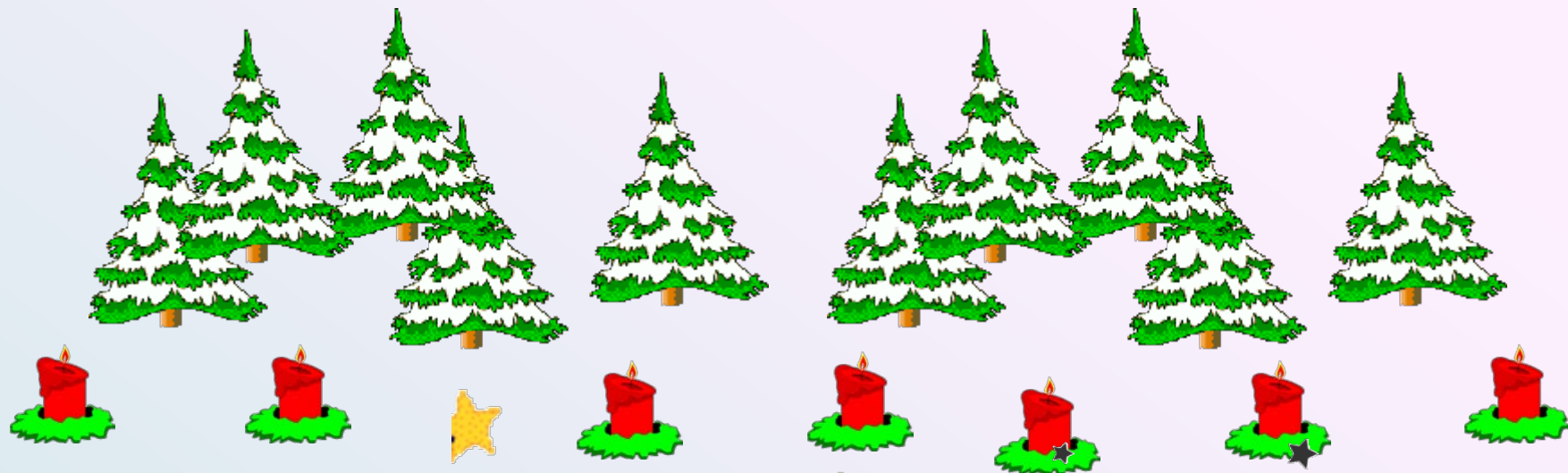
Sättigung



Der weite Weg zur Sättigung



PAL-XFEL (Pohang / Korea)



Frohe Weihnachten

B F

1. Stil - le Nacht! Hei - li - ge Nacht! Al - les

B Es Cm

schläft, ein - sam wacht nur das trau - te hoch

B Es Cm

hei - li - ge Paar. "Hol - der Kna - be im

Dm G Cm F⁷

lok - ki - gen Haar, schlaf' in himm - li - scher

B B/F F B

Ruh', — schlaf in himm - li - scher Ruh'!"

