LUCIA short pulses applications

J.-C. Chanteloup, S. Bahbah, LULI

Photon Science and Applications
National Ignition Facility Programs Directorate
Lawrence Livermore National Laboratory
Livermore, California USA
May 17-19, 2006

3rd International Workshop on High Energy Class Diode Pumped Solid State Lasers

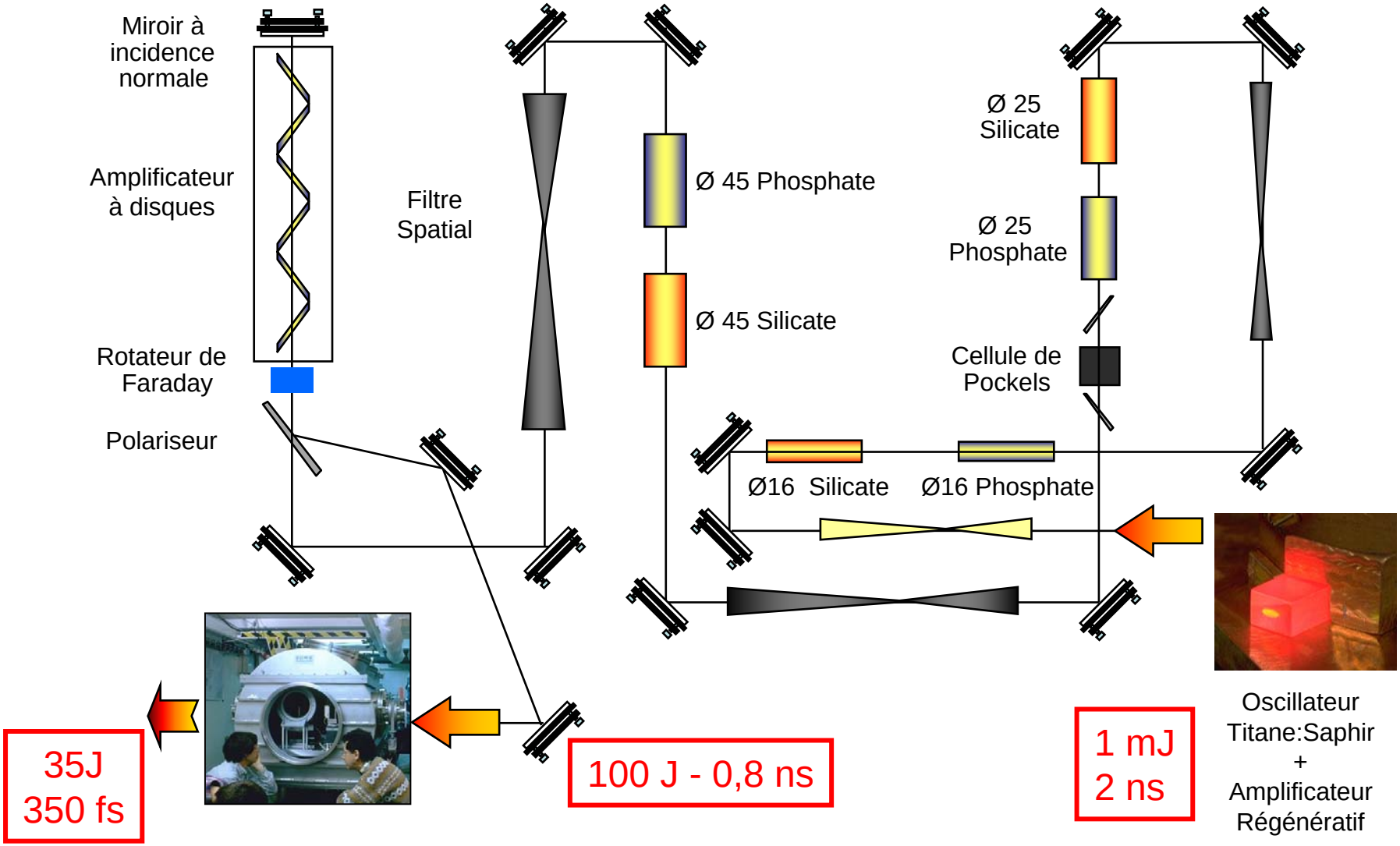
Overview

.LULI 100TW laser chain upgrade with OPCPA

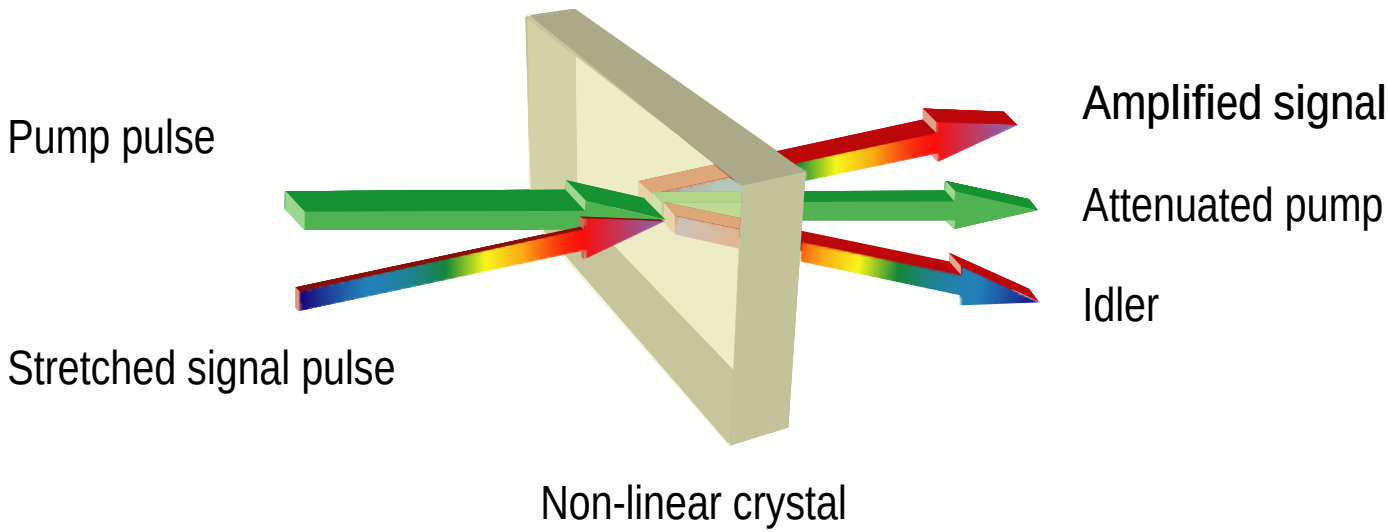
.3 microns OPCPA chain

.Protontherapy

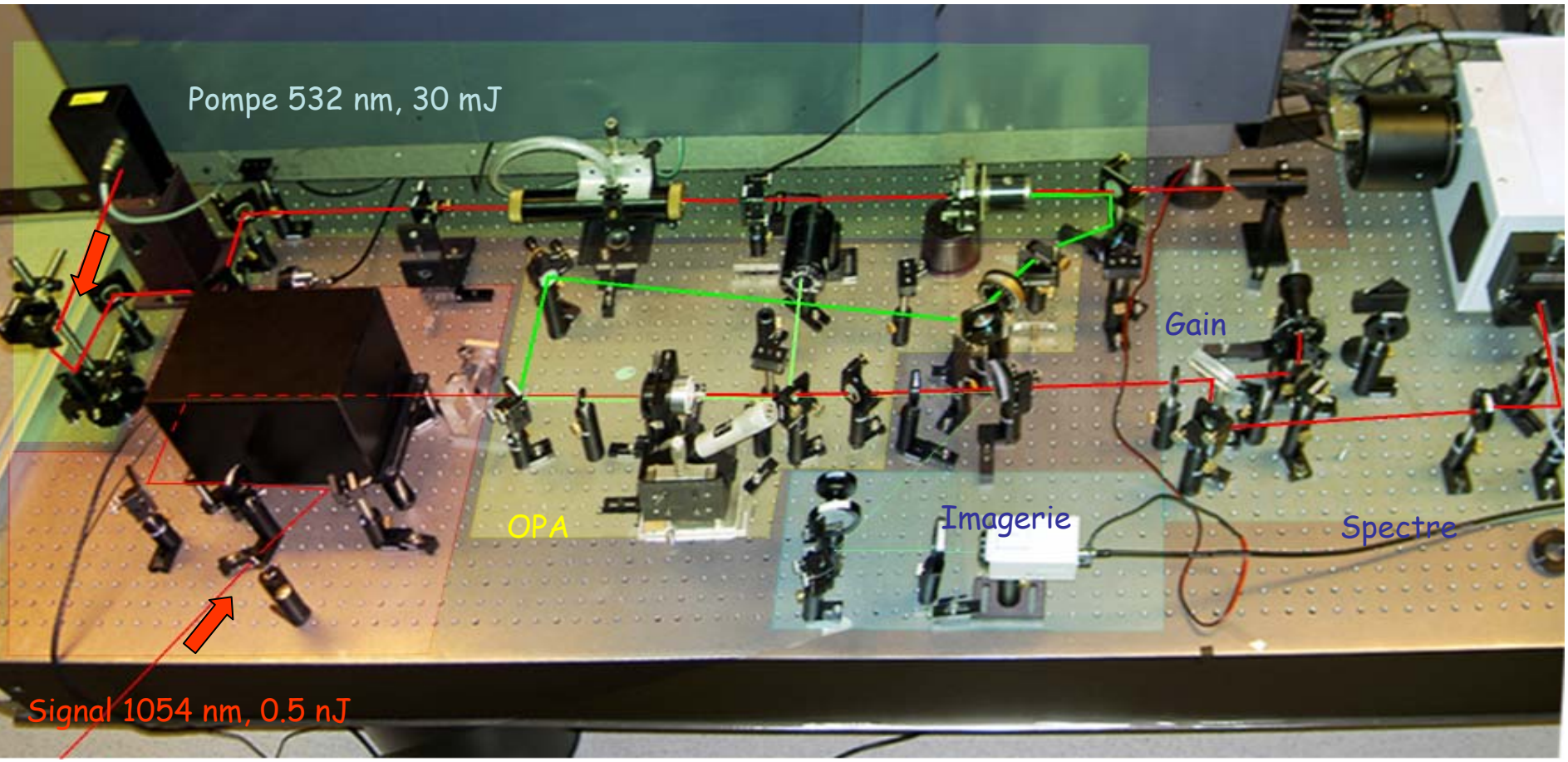
LULI 100 TW laser chain



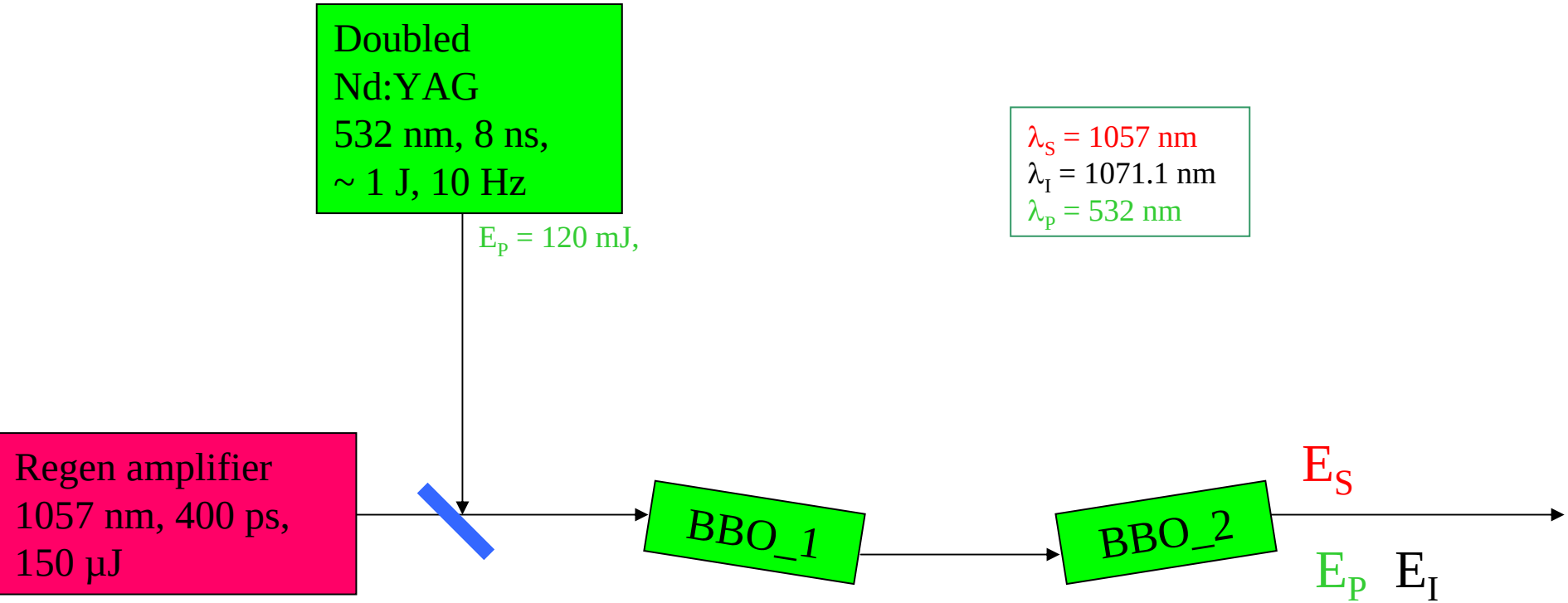
OPCPA *Optical Parametric Chirped Pulse Amplification*



Current OPCPA work



1057 nm OPCPA : 1st stage



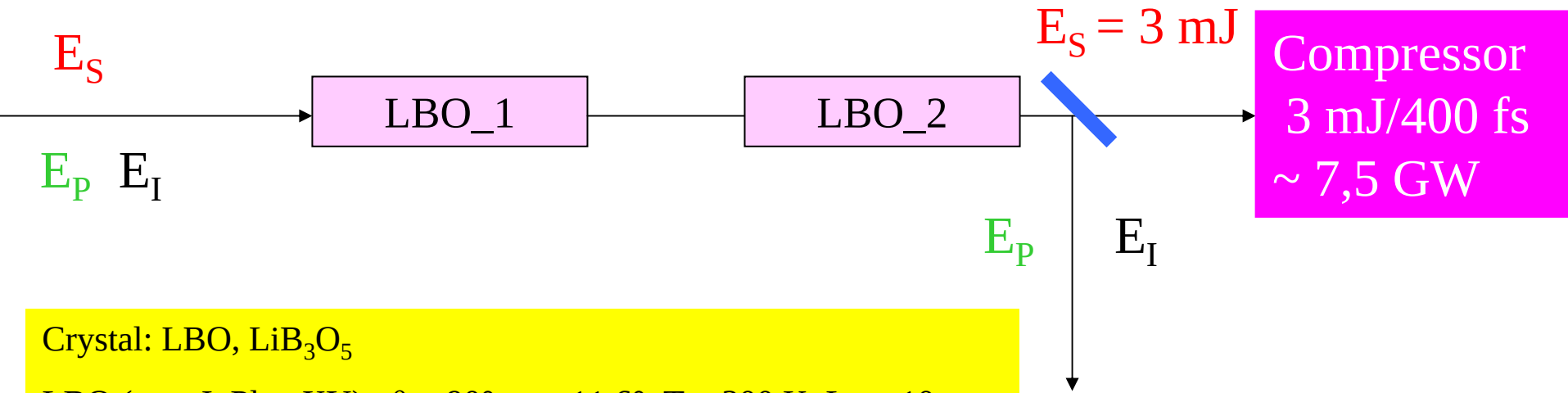
crystal: BBO, β-BaB_2O_2

BBO_1, (type I) : θ = 22,9°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 3 mm

BBO_2, (type I) : θ = 22,9°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 3 mm

1057 nm OPCPA : 2nd stage

λ_S = 1057 nm
λ_I = 1071.1 nm
λ_P = 532 nm

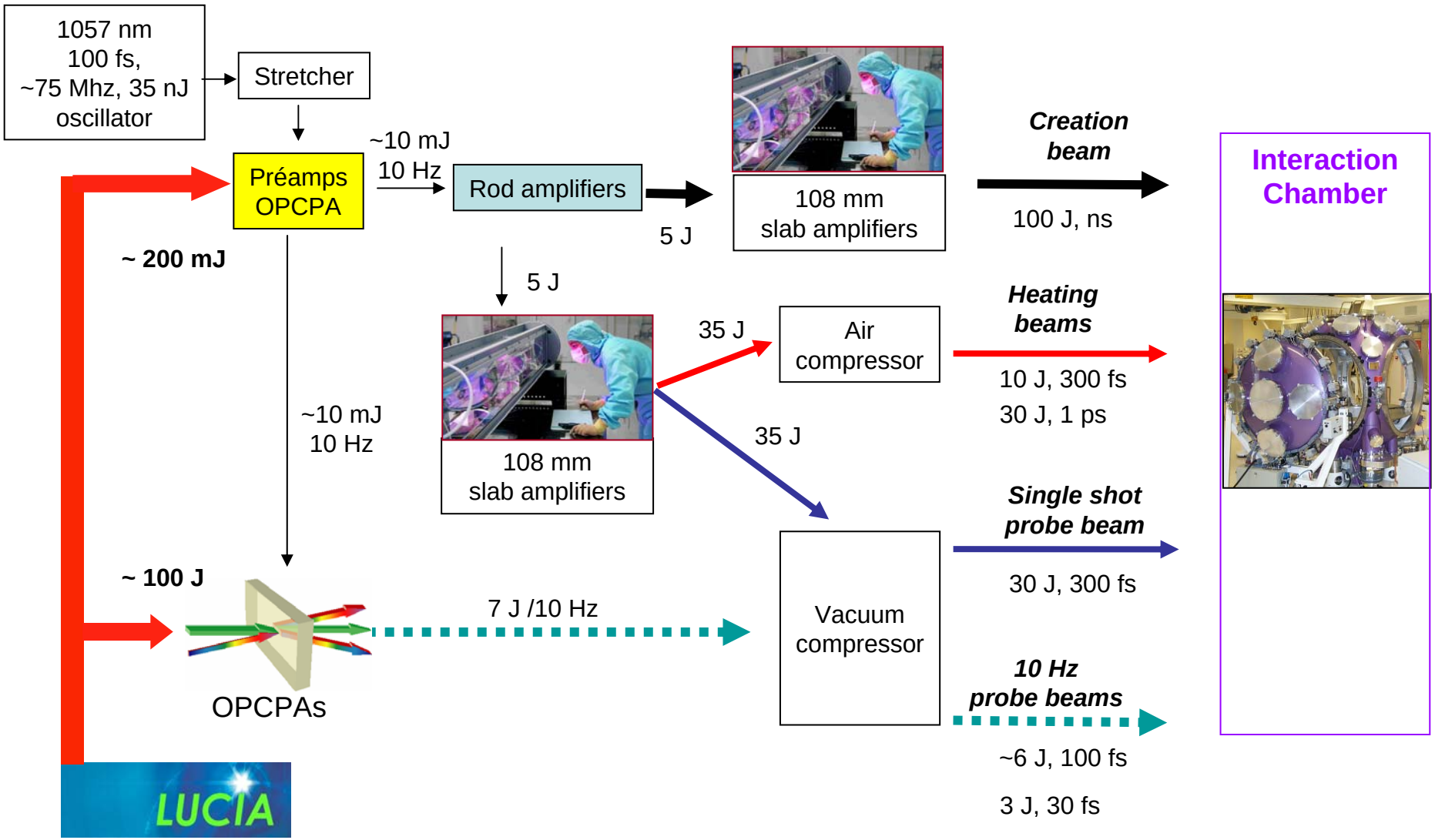


Crystal: LBO, LiB_3O_5

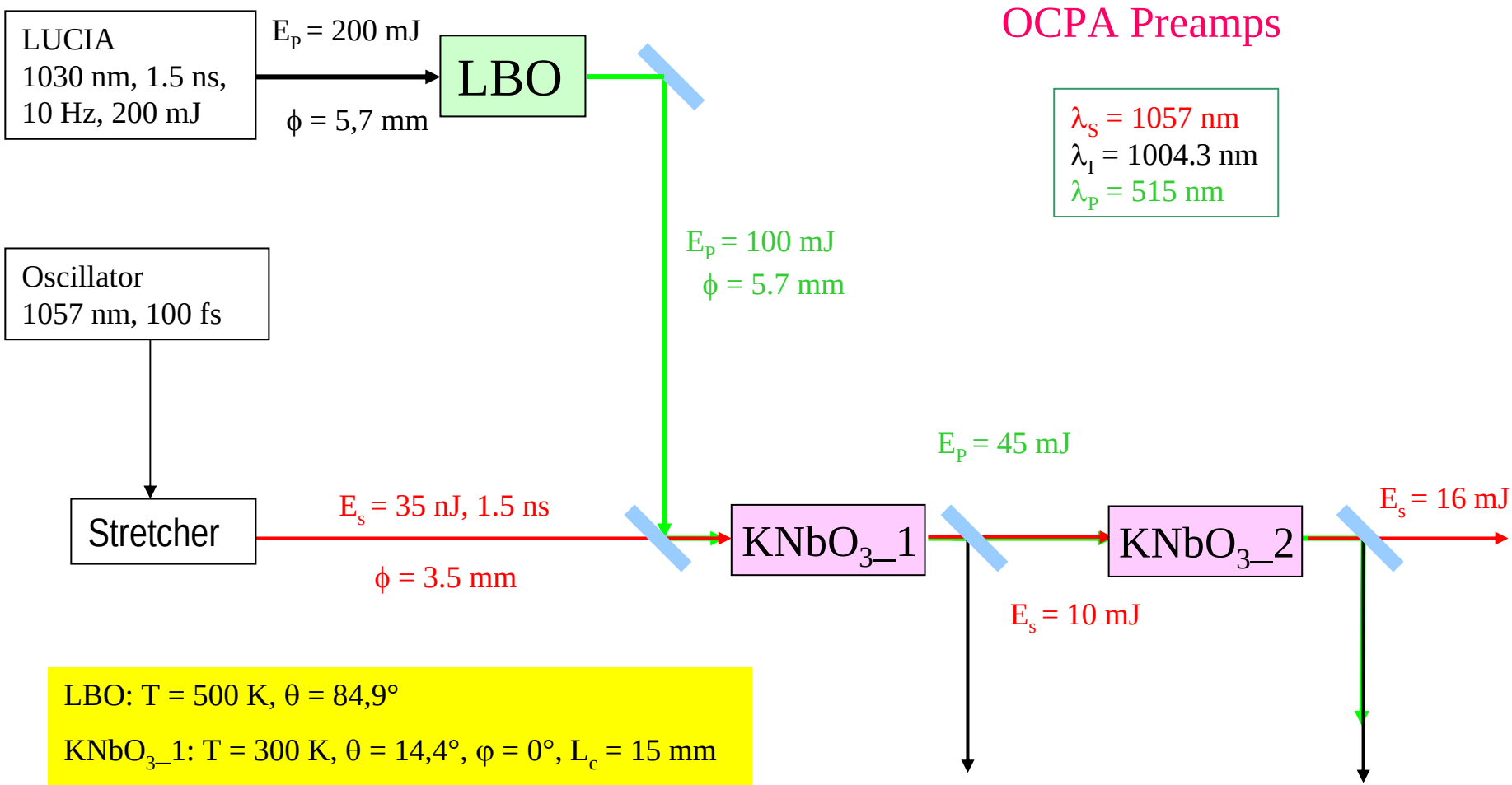
LBO (type I, Plan XY) : θ = 90°, φ = 11,6°, T = 300 K, L_C = 10 mm

LBO (type I, Plan XY) : θ = 90°, φ = 11,6°, T = 300 K, L_C = 10 mm

100TW laser chain upgrade



Stage 1

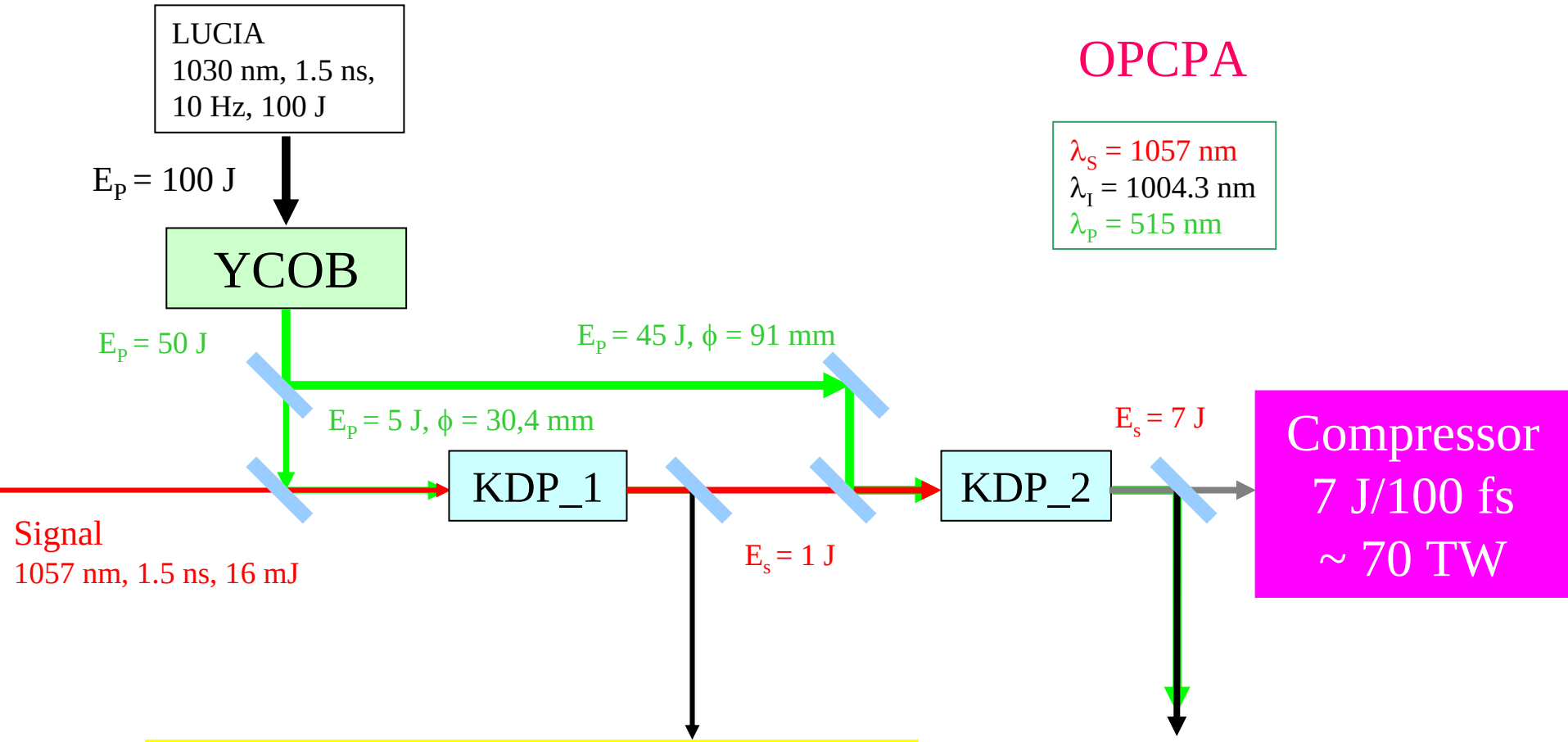


LBO: T = 500 K, θ = 84,9°

$KNbO_3$_1: T = 300 K, θ = 14,4°, φ = 0°, L_c = 15 mm

$KNbO_3$_2 : T = 300 K, θ = 14,4°, φ = 0°, L_c = 17 mm

Stage 2



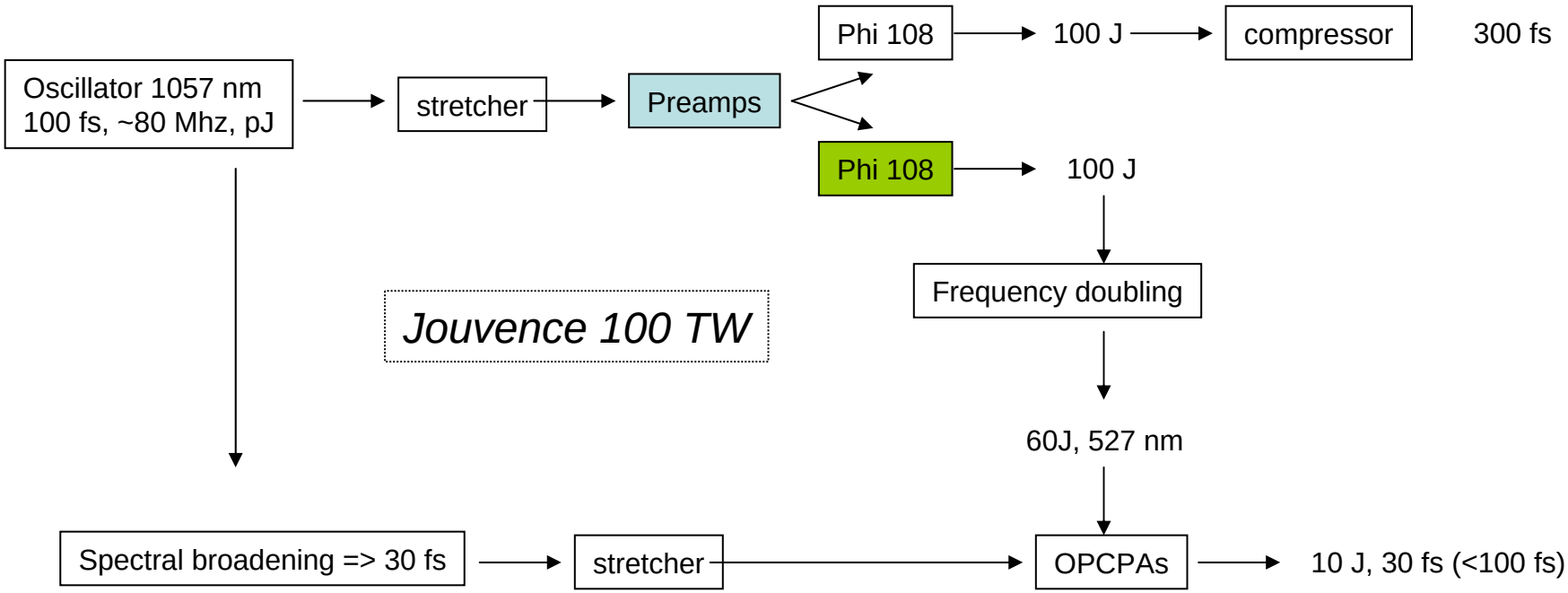
YCOB: T = 500 K, θ = 150,9°

KDP_1 (type I): T = 300 K, θ = 41°, φ = 0°, L_c = 86 mm

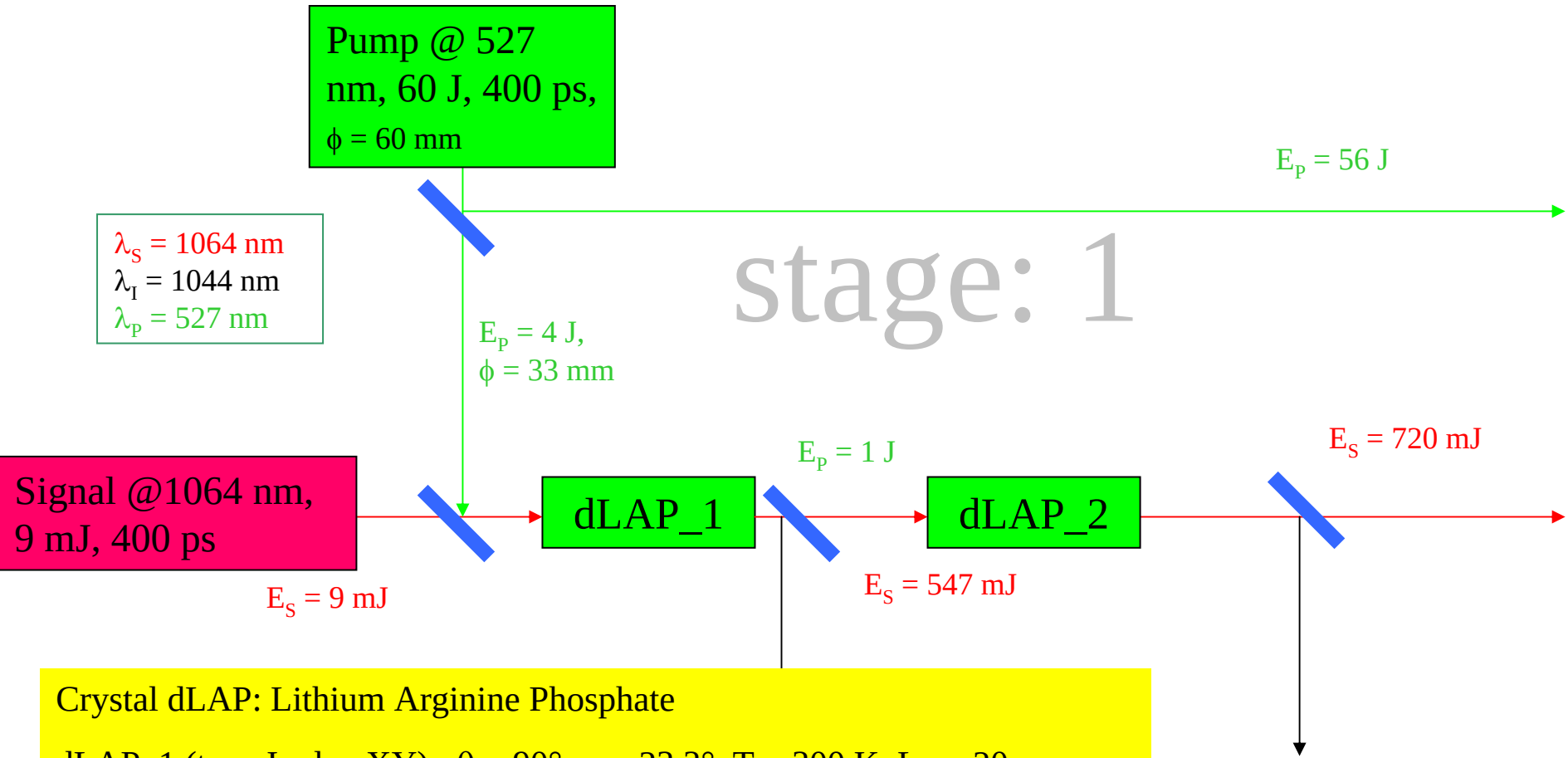
KDP_2 (type I): T = 300 K, θ = 41°, φ = 0°, L_c = 67 mm

100 TW upgrade without waiting for LUCIA

Self pumped architecture



Scheme 1 (dLAP&KDP)

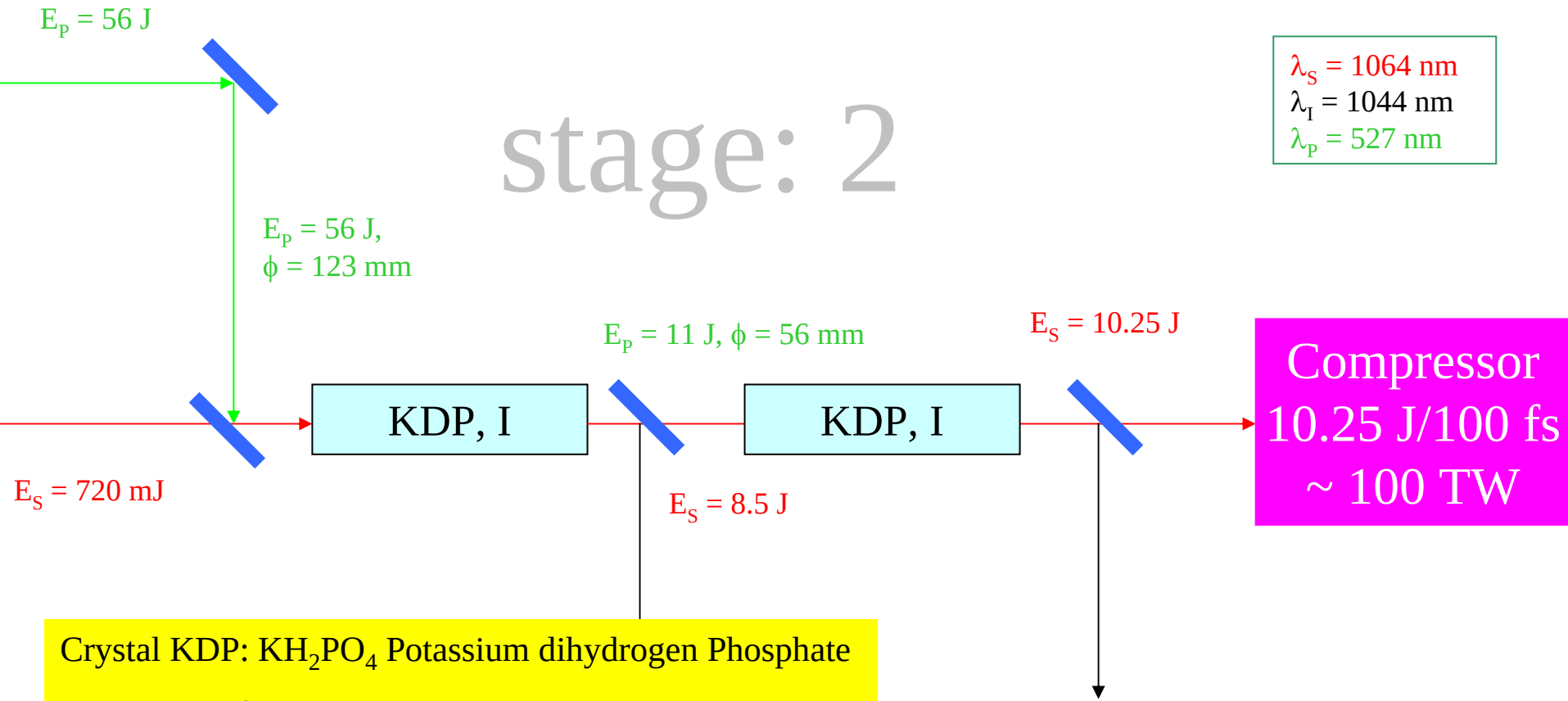


Crystal dLAP: Lithium Arginine Phosphate

dLAP_1 (type I, plan XY) : $\theta = 90°$, $\varphi = 23{,}3°$, T = 300 K, L_C = 20 mm

dLAP_2 (type I, plan XY) : $\theta = 90°$, $\varphi = 23{,}3°$, T = 300 K, L_C = 10 mm

Scheme 1 (dLAP&KDP)

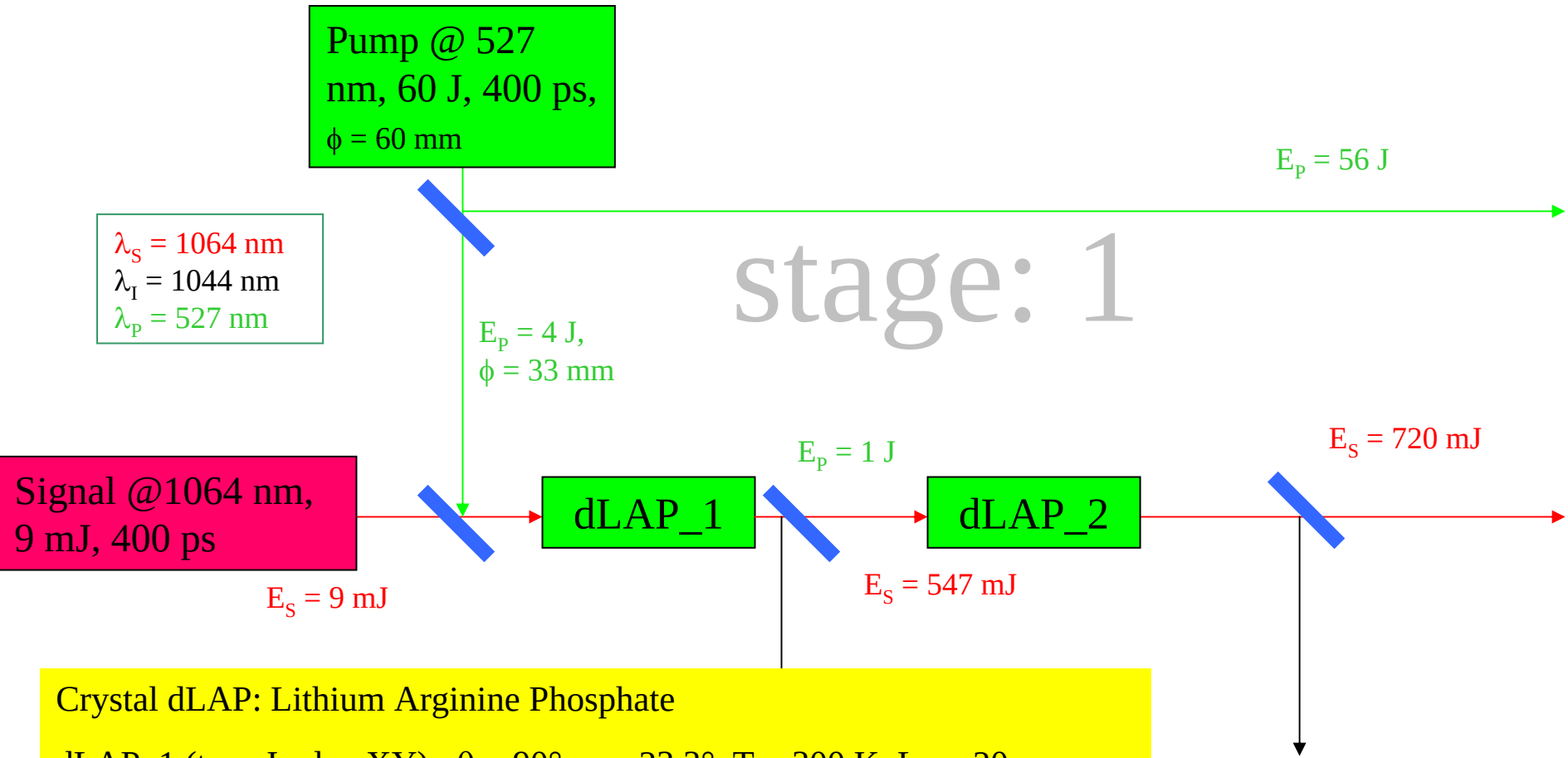


Crystal KDP: KH_2PO_4 Potassium dihydrogen Phosphate

KDP type I, θ = 41,1°, T = 300 K, L_C = 45 mm

KDP type I, θ = 41,1°, T = 300 K, L_C = 36 mm

Scheme 2 (dLAP,KDP&YCOB)

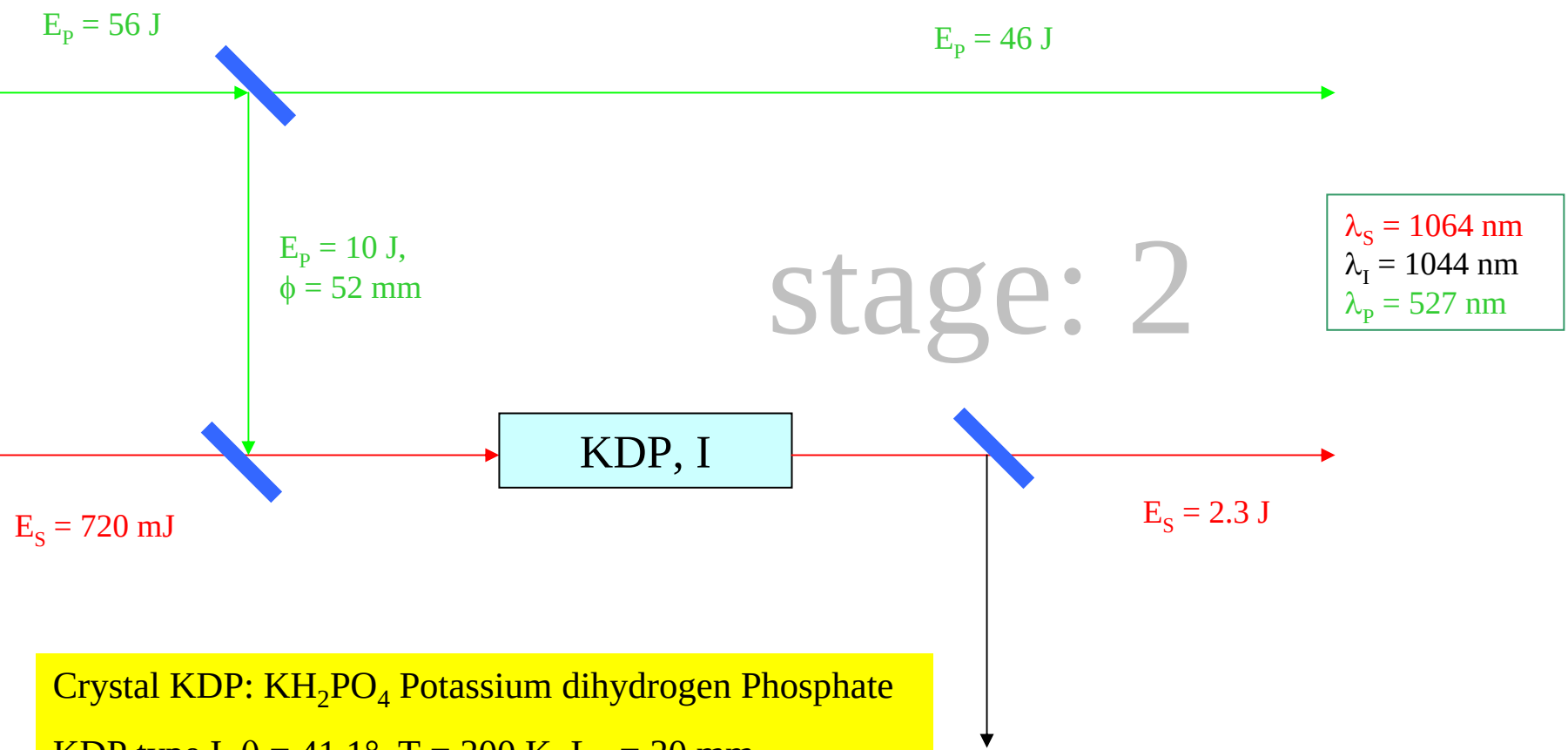


Crystal dLAP: Lithium Arginine Phosphate

dLAP_1 (type I, plan XY) : $\theta = 90°$, $\varphi = 23{,}3°$, T = 300 K, L_C = 20 mm

dLAP_2 (type I, plan XY) : $\theta = 90°$, $\varphi = 23{,}3°$, T = 300 K, L_C = 10 mm

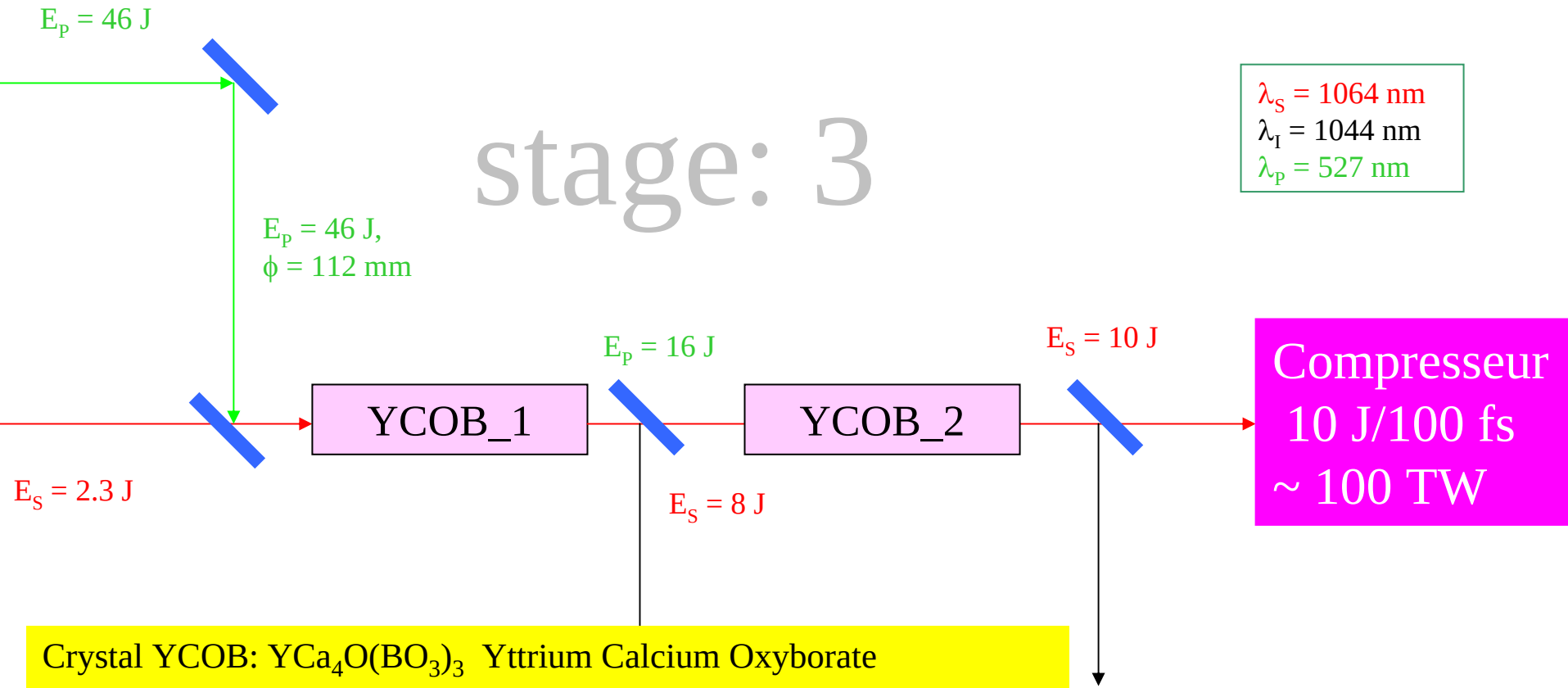
Scheme 2 (dLAP,KDP&YCOB)



Crystal KDP: KH_2PO_4 Potassium dihydrogen Phosphate

KDP type I, θ = 41,1°, T = 300 K, L_C = 30 mm

Scheme 2 (dLAP,KDP&YCOB)

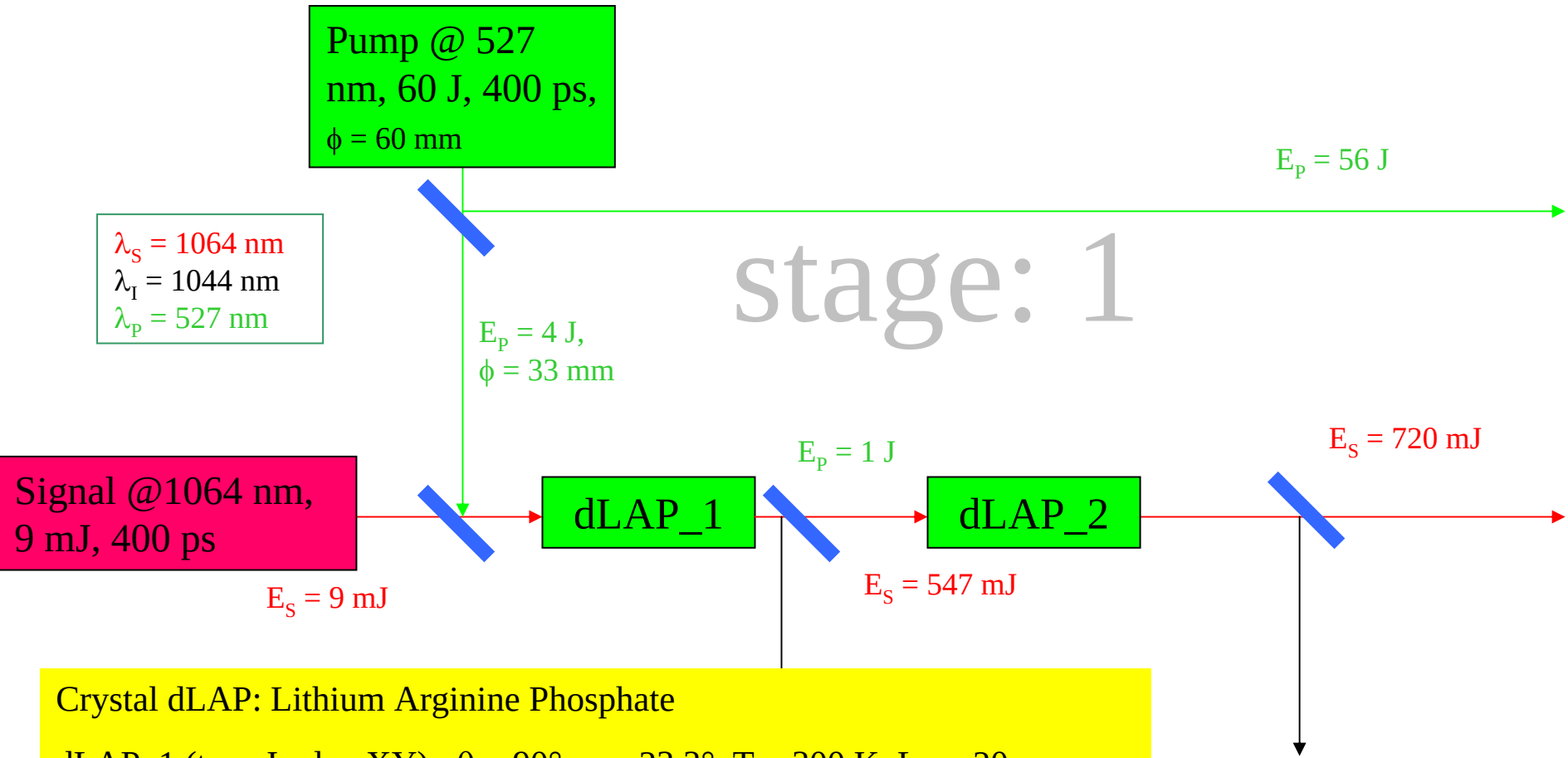


Crystal YCOB: $YCa_4O(BO_3)_3$ Yttrium Calcium Oxyborate

YCOB_1 (type I, plan XZ), θ = 149,7°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 31 mm

YCOB_2 (type I, plan XZ), θ = 149,7°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 24 mm

Scheme 3 (dLAP&YCOB)

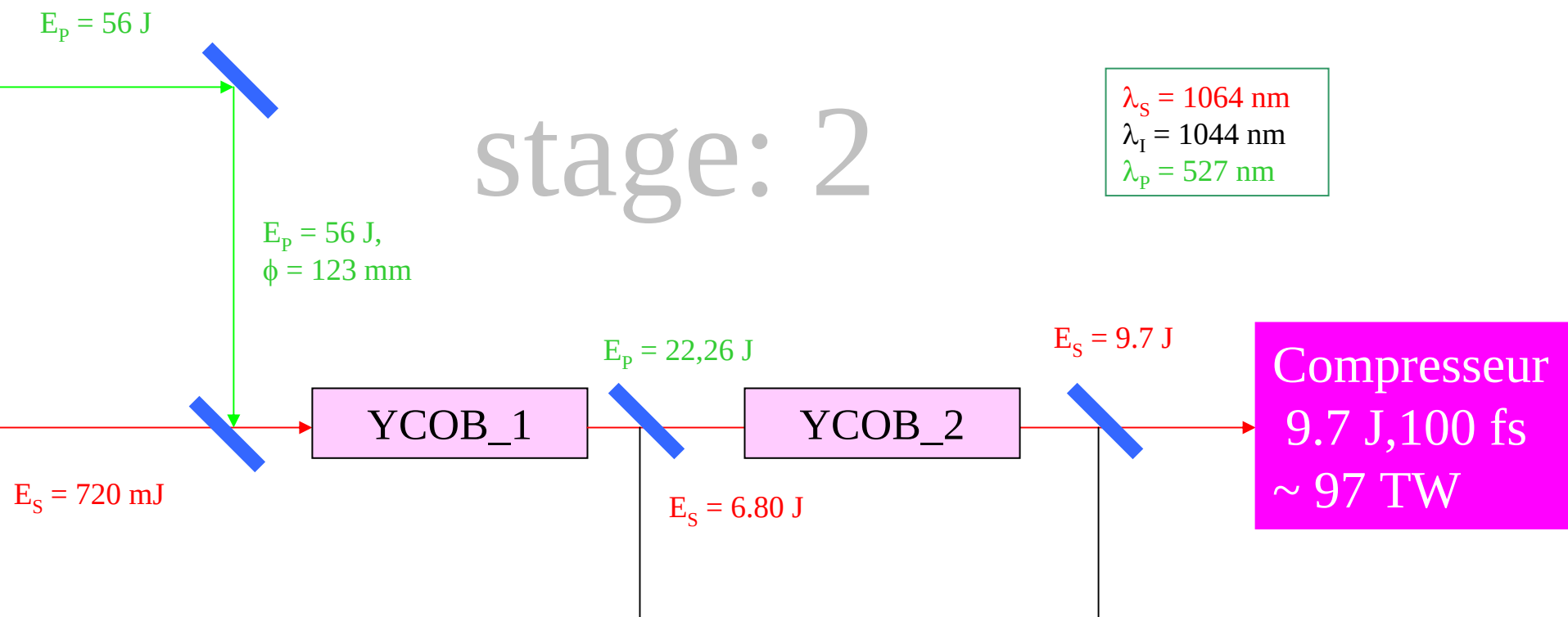


Crystal dLAP: Lithium Arginine Phosphate

dLAP_1 (type I, plan XY) : θ = 90°, φ = 23,3°, T = 300 K, L_C = 20 mm

dLAP_2 (type I, plan XY) : θ = 90°, φ = 23,3°, T = 300 K, L_C = 10 mm

Scheme 3 (dLAP&YCOB)

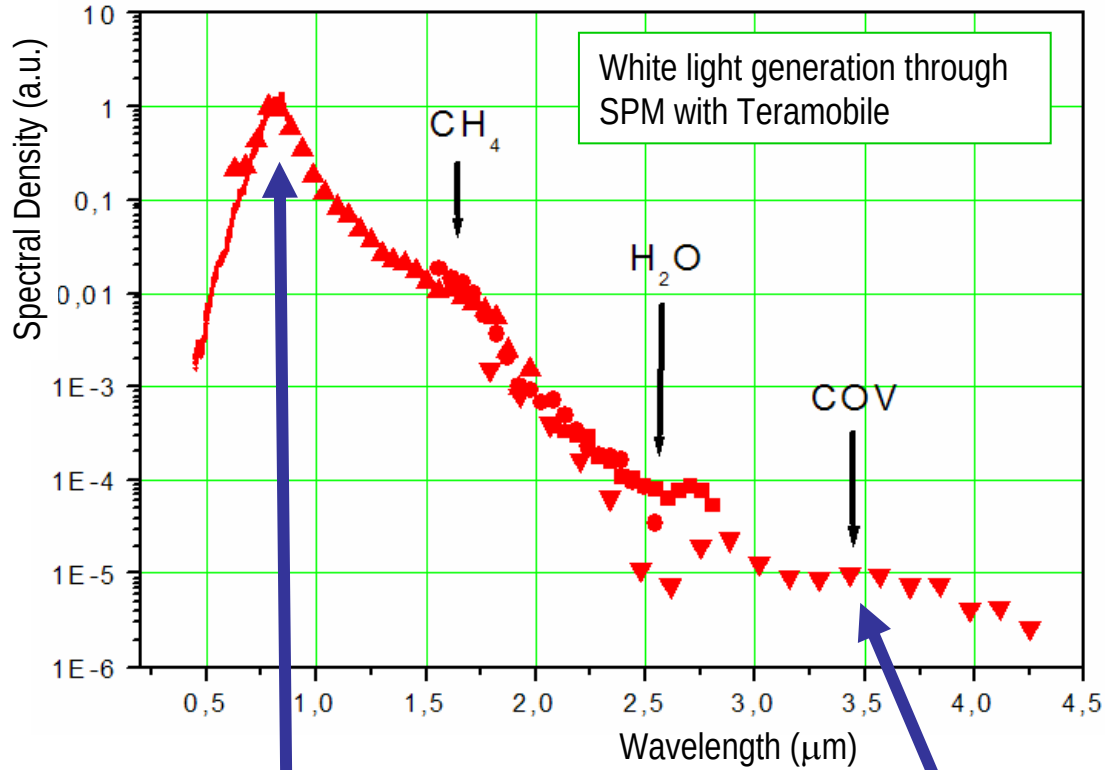


Crystal YCOB: $YCa_4O(BO_3)_3$ Yttrium Calcium Oxyborate

YCOB_1 (type I, plan XZ), θ = 149,7°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 42 mm

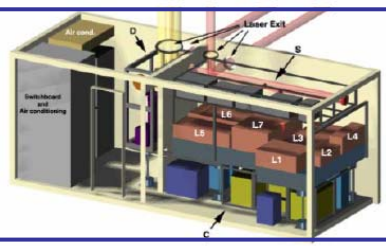
YCOB_2 (type I, plan XZ), θ = 149,7°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 27 mm

multi-TW source at 3 μm / 10 Hz



Téramobile is a Lidar (LIght Detection and Ranging) program jointly funded by CNRS & DFG since 1999:

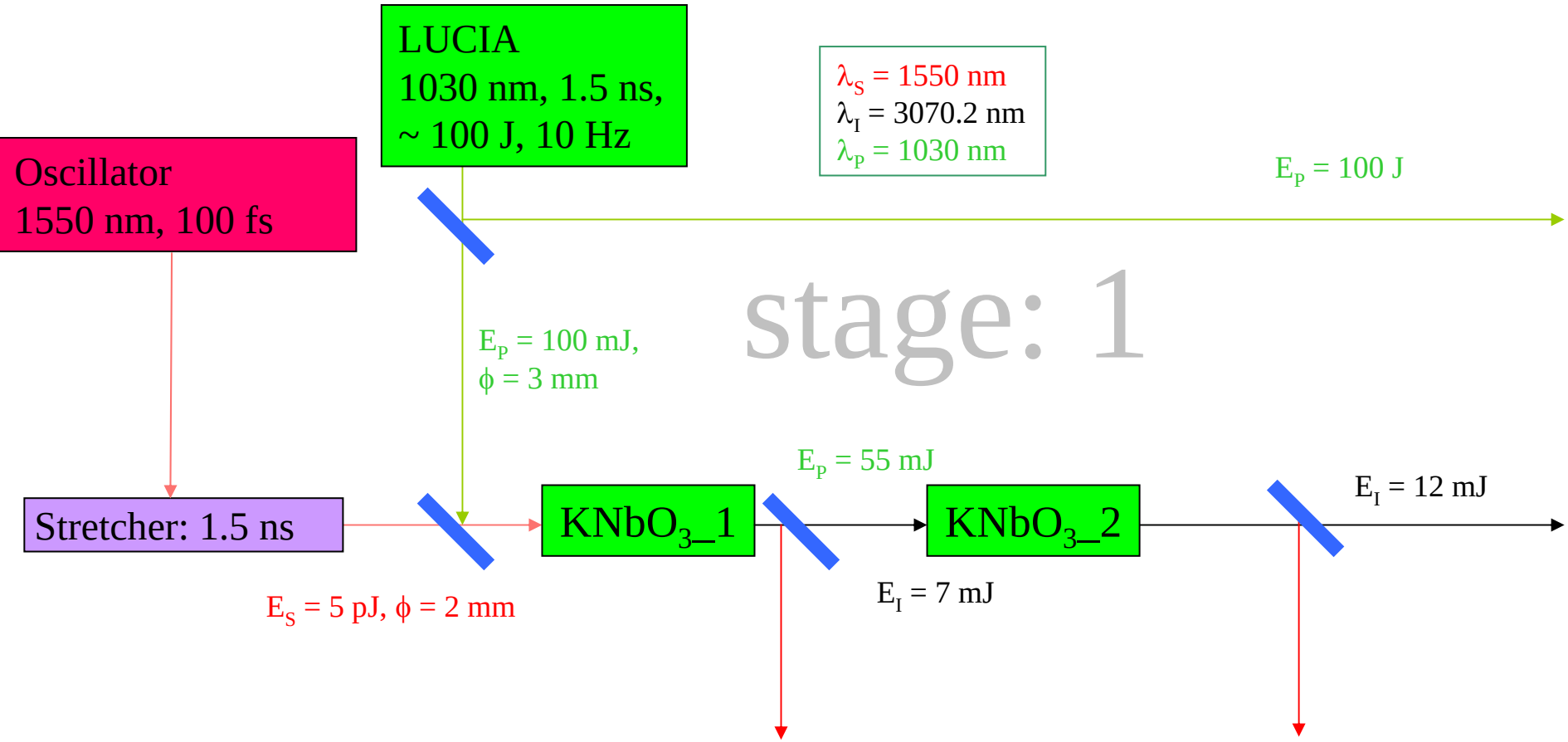
- Two French laboratories (LASIM, LOA)
- Two German laboratories (Berlin & Jena)



350 mJ
70 fs – 5 TW
793 nm

Vibrational frequency (C-H) of Light Organic Components (LOC) = 3.3 μm.

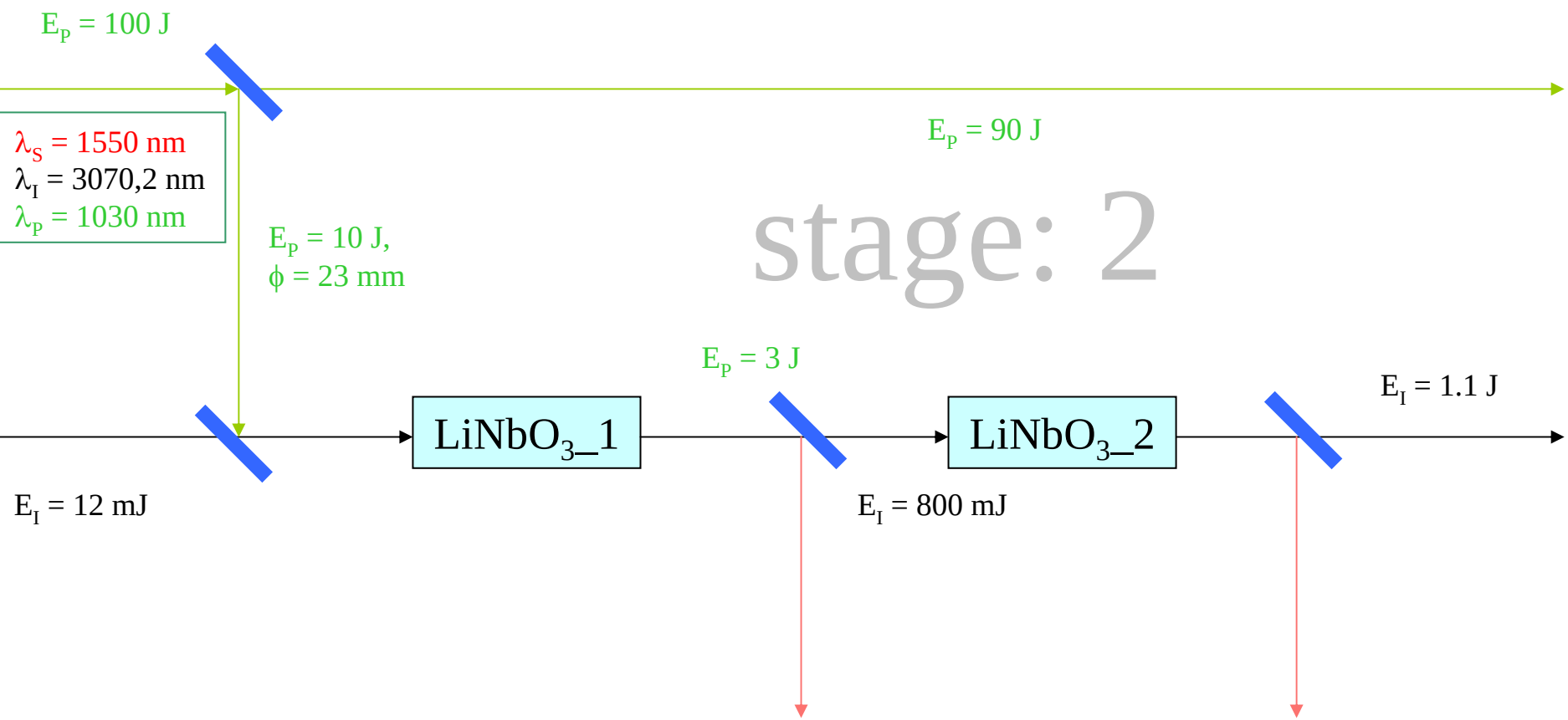
3μm OPCPA Scheme 1 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$)



$KNbO_3$_1, (type I) : θ = 42.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 37 mm

$KNbO_3$_2, (type I) : θ = 42.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 27 mm

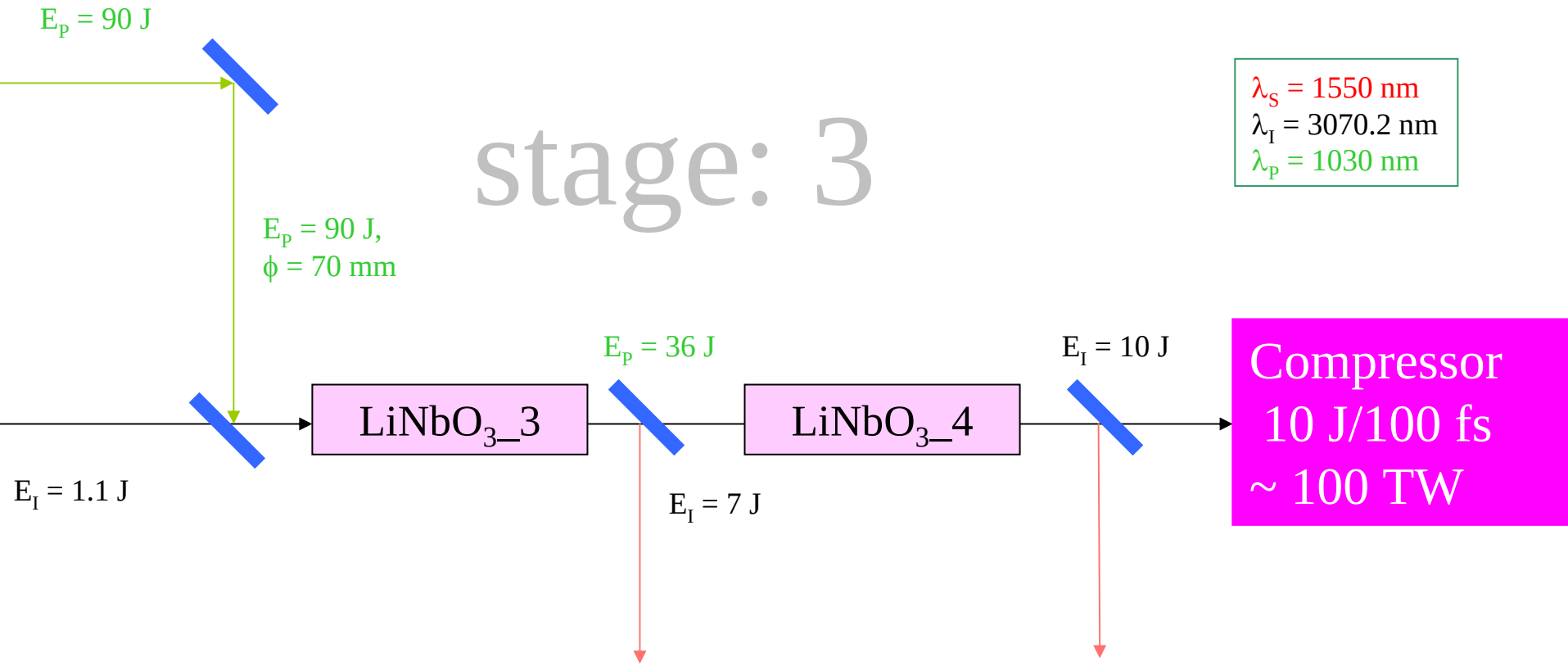
3μm OPCPA Scheme 1 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$)



$LiNbO_3$_1, (type I) : θ = 46,1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 14 mm

$LiNbO_3$_2, (type I) : θ = 46,1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 18 mm

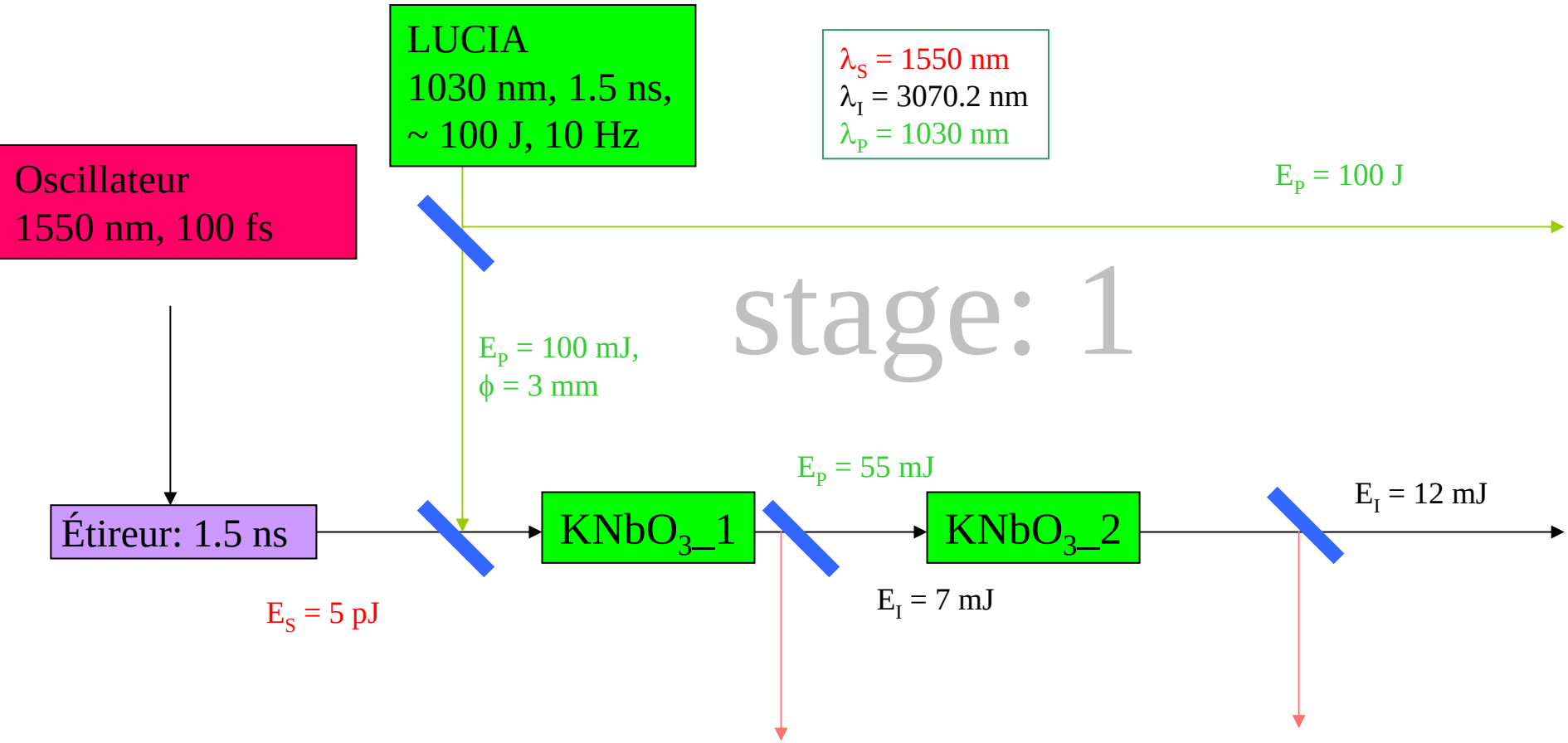
3μm OPCPA Scheme 1 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$)



$LiNbO_3$_3, (type I) : θ = 46,1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 26 mm

$LiNbO_3$_4, (type I) : θ = 46,1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 28mm

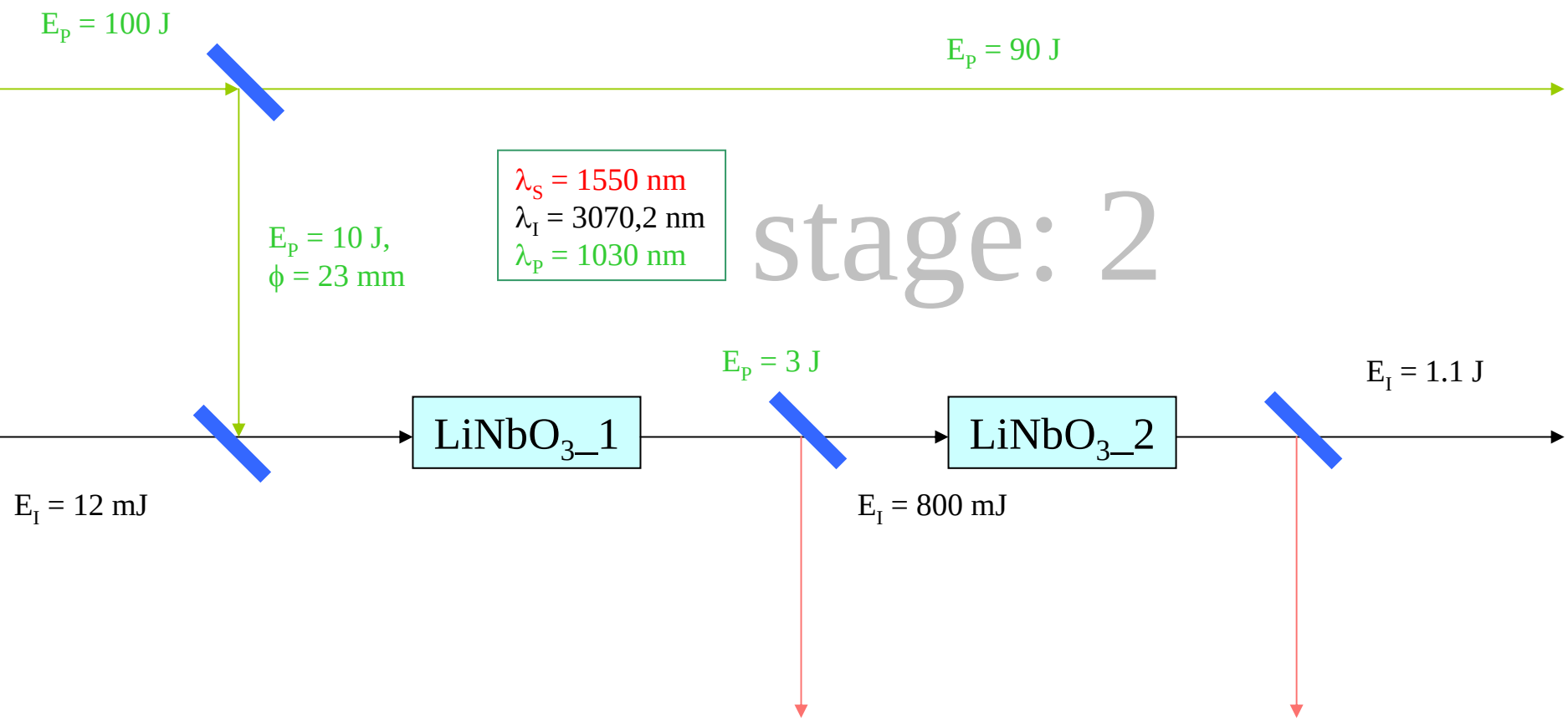
3μm OPCPA Scheme 2 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$&KTP)



$KNbO_3$_1, (type I) : θ = 42.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 37 mm

$KNbO_3$_2, (type I) : θ = 42.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 27 mm

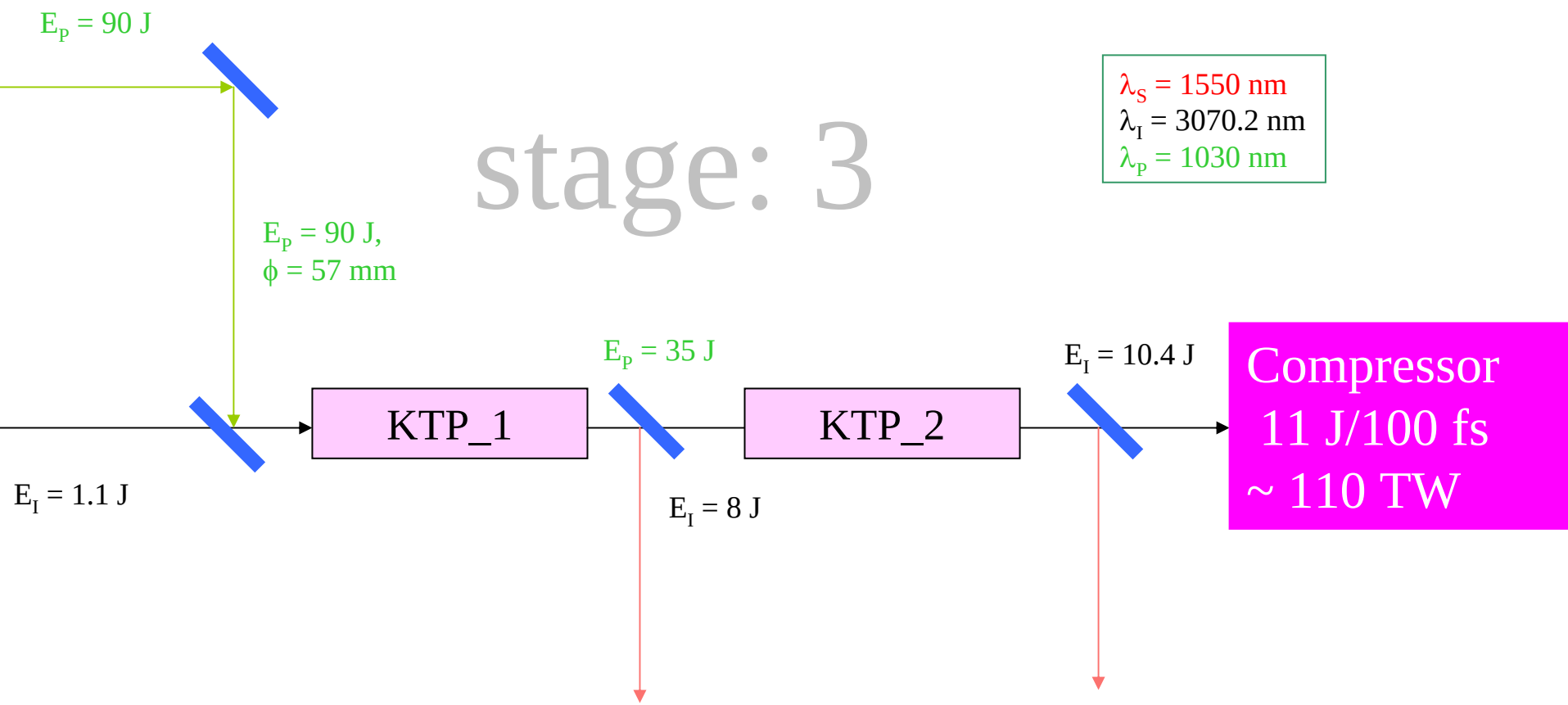
3μm OPCPA Scheme 2 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$&KTP)



$LiNbO_3$_1, (type I) : θ = 46.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 14 mm

$LiNbO_3$_2, (type I) : θ = 46.1°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 18 mm

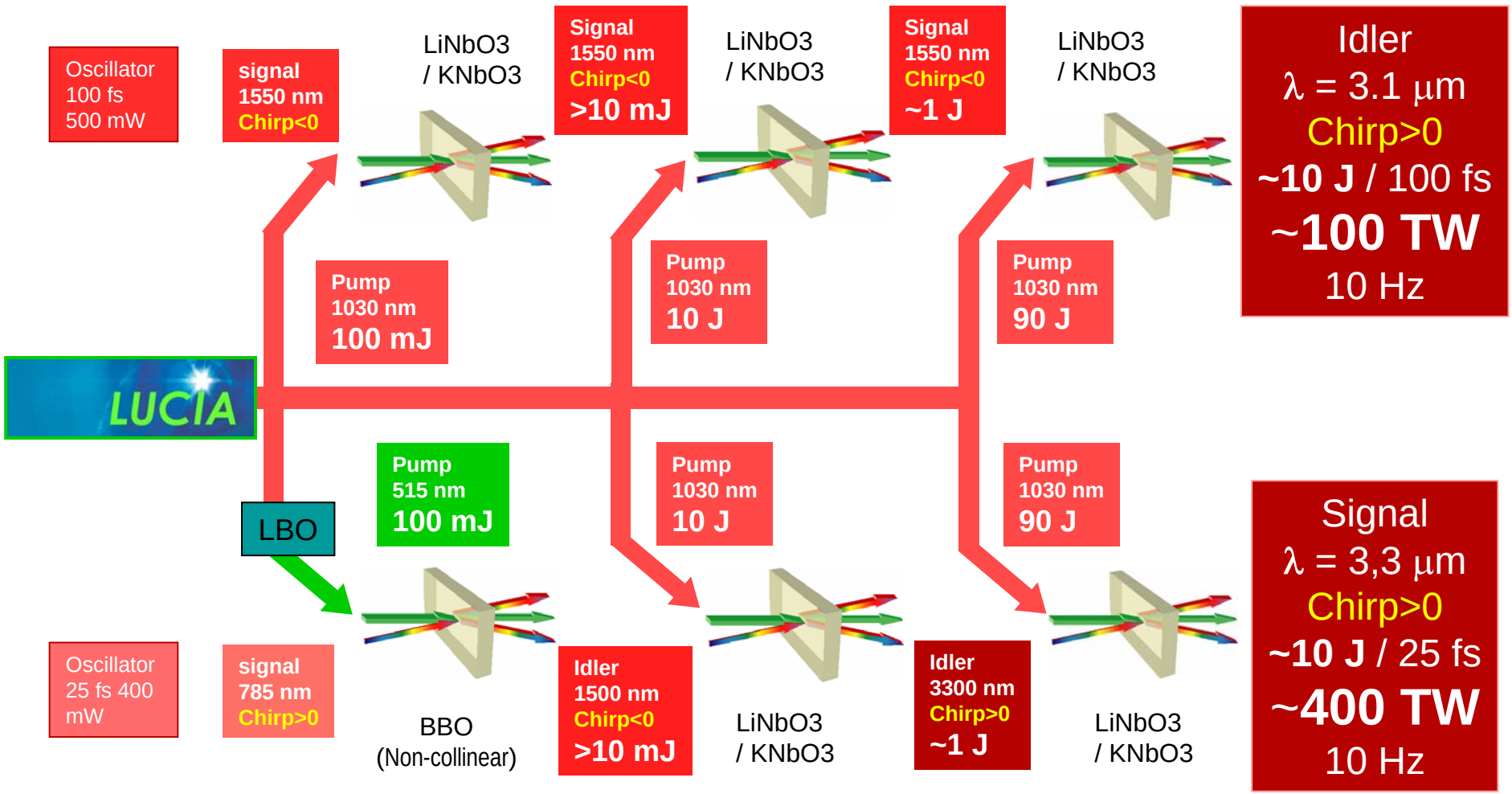
3μm OPCPA Scheme 2 ($KNbO_3$&$LiNbO_3$&KTP)



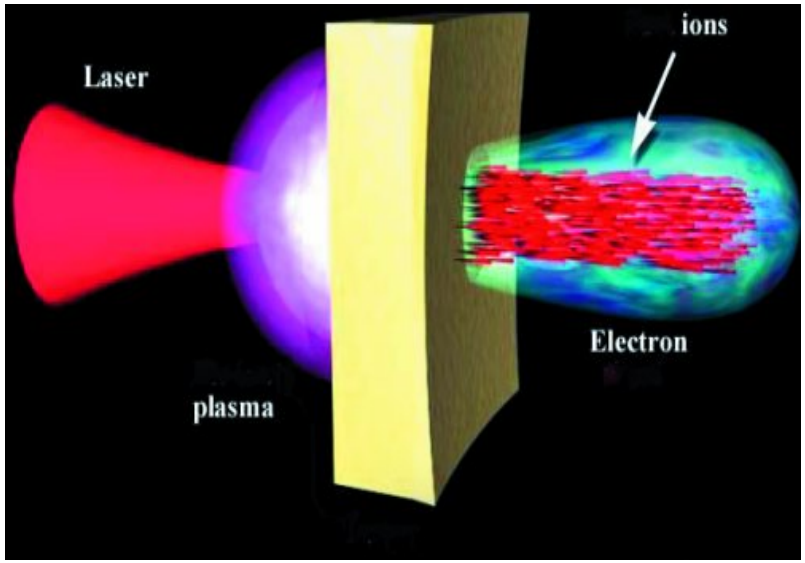
KTP_1 (type II), θ = 44.4°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 26 mm

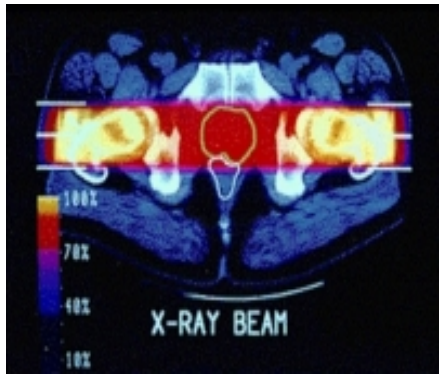
KTP_2 (type II), θ = 44.4°, φ = 0°, T = 300 K, L_C = 40 mm

OPCPA ~3 μm for LIDAR

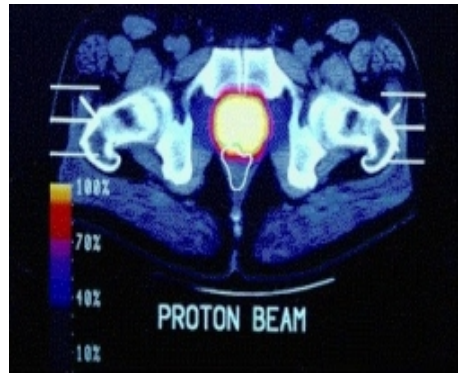


Protontherapy





X rays are interacting with tissues on the path towards the tumor



Proton beams reach the tumor without previous interaction and with high precision

To go through dense tissues, 250 to 300 MeV proton beams are required

Protons need to be produced at a somehow high rep rate (~10 Hz)

A solution could be a laser :~ 300 fs / 100 J / 10 Hz ☆

DPSSL are offering such perspectives

☆ J. Fuchs, Nature Physics, volume 2, issue 1, pp 48-54 (2006).

Protontherapy

Laser-driven proton scaling laws and new paths towards energy increase

J. FUCHS[1,2]*, P. ANTICI[1,2,3,4], E. D'HUMIÈRES[5], E. LEFEBVRE[5], M. BORGHESI[6], E. BRAMBRINK[1], C. A. CECCHETTI[6], M. KALUZA[7], V. MALKA[8], M. MANCLOSSI[8,9], S. MEYRONEINC[10], P. MORA[11], J. SCHREIBER[7], T. TONCIAN[12], H. PÉPIN[3] AND P. AUDEBERT[1]

[1] Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, UMR 7605 CNRS-CEA-École Polytechnique-Université Paris VI, 91128 Palaiseau, France
[2] Physics Department, MS-220, University of Nevada, Reno, Nevada 89557, USA
[3] INRS-ÉMT, 1650 bd. L. Boulet, J3X1S2 Varennes, Québec, Canada
[4] Dipartimento di Energetica, Università di Roma 'La Sapienza', Via Scarpa 14-16, 00161 Roma, Italy
[5] Département de Physique Théorique et Appliquée, CEA-DIF, BP 12, 91680 Bruyères-le-Châtel, France
[6] School of Mathematics and Physics, The Queen's University, Belfast BT7 1NN, UK
[7] Max-Planck-Institut für Quantenoptik, 85748 Garching, Germany
[8] Laboratoire d'Optique Appliquée –ENSTA, UMR 7639, CNRS, Ecole Polytechnique, 91761 Palaiseau, France
[9] Dipartimento di Fisica 'G.Occhialini' and INFM, Università di Milano-Bicocca, 20126 Milano, Italy
[10] Centre de Protonthérapie d'Orsay, BP 65, 91402 Orsay, France
[11] Centre de Physique Théorique, UMR 7644 CNRS-Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France
[12] Institut für Laser und Plasmaphysik, Heinrich-Heine-Universität, 40225 Düsseldorf, Germany

*e-mail: julien.fuchs@polytechnique.fr

Nature Physics, volume 2, issue 1, pp 48-54 (2006).

Protontherapy

Build a laser with a laser

LIBERATION
SAMEDI 18 ET DIMANCHE 19 MARS 2006

39

40 | XXIe SIÈCLE | SANTÉ

LIBERATION
SAMEDI 18 ET DIMANCHE 19 MARS 2006

le l'hy-
la pré-
péré de
oir Co-
e tech-
le pro-
firmée,
suivre,
mpant
rsicien.
nte Ju-
locaux

un laser expérimental.
Une partie des problèmes pourraient trouver leur solution dans une des salles du Luli. Jean-Christophe Chanteloup y met en place les éléments de «Lucia». Le principe? «*Faire un laser avec un laser*», explique le physicien. Dans la plupart des lasers, le «*pompage*» (l'apport d'énergie sur le matériau qui va émettre les photons laser) se fait avec des lampes flash. Rendement énergétique minable, source électrique énorme... Dans Lucia, ce

Centre de protonthérapie d'Orsay, 28 février.

Photos Benoît Grimbert

Pourquoi l'hôpital. Rêve de médecin, espoir de malade. La protonthérapie peut-elle, après l'IRM (imagerie à résonance magnétique), les scanners, la médecine nucléaire, la radiothérapie, sauver le jour? Lorsque médecins et physiciens se sont lancés dans l'aventure de la protonthérapie (lire ci-contre), ils ne savaient pas comment se passer d'un gros cyclotron, un accélérateur de particules, pour générer le flux des protons [illegible] fondes, de l'or filet d'acier vers Orsay, cyclotron [illegible] timent entière, une alimentation électrique suffisante, et une équipe spécifique d'ingénieurs et techniciens. Il faut y ajouter le transport du faisceau de protons jusqu'au patient. De quoi intéresser tout agénéraliste trouvé cette technique à la lisière des boîtes.

Révolutionnaire

Ce serait un coup ratté cider. En janvier, une équipe internationale de physiciens a publié dans la revue *Nature Physics* (1) un article détaillant une perspective totalement nouvelle. Au lieu d'un énorme cyclotron, des lasers ultra-puissants, tirant sur [illegible] de taille [illegible] qui pourrait [illegible] Mais il souligne que les [illegible] cours et l'expérience des lasériste, habitués aux progrès rapides de leurs technologies depuis vingt ans, ne [illegible] dans les développements [illegible] nécessaires.

L'idée est toute simple. Il a [illegible] Lawrence-Livermore (Californie) [illegible] Tom Cowan bombarde une cible [illegible] de la cible (les atomes perdent leurs électrons). A l'avant de la cible, se forme une boule de plasma, d'où échappe et des électrons, à grande vitesse et dans toutes les directions.

Sur ses instruments, ces zéros électrons forment une drôle de figure. Logique, puisque ce sont... des protons, [illegible] qui, avec les neutrons, forment [illegible] Pourquoi quelque [illegible] Mais [illegible] Cowan vient de découvrir un [illegible] pour produire un faisceau [illegible] confirmée, [illegible] Il se voit [illegible] ouvert, [illegible] la direction [illegible] la cavité du laser [illegible] «C'est alors qu'il est venu [illegible] Fuchs. Ici, c'est-à-dire [illegible] du Luli, l'un des trois [illegible] autorisés et ils lasers.

[illegible]

Ici, on fait dans une [illegible] fait aussi aussi. Court? Ce sont des impulsions (les paquets de photons) émis par le laser. Quelques centaines de femtosecondes (femto = 10^{-15}) seulement, ce qui permet de concentrer l'énergie en un flash instantanément de la dépose sur une surface minuscule, moins d'un millimètre carré. Le choc dû à cela tem pérature se à des millions de degrés, comme au cœur du soleil. Et prévoyant la formation de champs électriques «*ultra-intenses*», explique Fuchs. Ils sont à la origine des protons. Ces lasers de puissance sont utilisés dans de nombreuses recherches: «*fusion thermonucléaire par confinement inertiel, étude des plasmas ou de la matière en de très hautes pression, radiographie à très grande vitesse pour étudier les réactions chimiques...*», explique François Amiranoff, le directeur du Luli. En quelques années, l'équipe fédérée autour du Luli pourra-t-elle la découverte de Cowan. Et prépare le terrain pour des applications. Le plus intéressant se passe... à l'arrière de la cible. «*Le phénomène est si rapide que l'arrière de la cible est ionisé, et produit un champ électrique énorme (10[illegible] volts/mètre) avant même d'avoir détaché la cible. Du coup, les protons partent tous en même temps et vers dans la direction opposée au laser, perpendiculairement à la paroi, formant un faisceau ultra-fin.*» Au lieu et à mesure des expériences, les physiciens peaufinent leur centre. Un film de plastique placé sur l'arrière de la cible augmente encore le nombre de protons disponibles. Le faisceau de protons devient bien bien maîtrisé (c'est-à-dire que ces protons ont des trajectoires bien parallèles, centrés et physiques dans un accélérateur de particules). Différents dispositifs, amenés sur le film ou un cylindre illuminé par laser, permettent de les focaliser et de le régler selon leur énergie. La maîtrise de l'ensemble donne un «paquet» de protons dont on peut régler le top départ, l'énergie et la direction...

«Rare et très haut»

[illegible]

Centre de protonthérapie, le 28 février.

[illegible] un laser expérimental.
Une partie des problèmes pourraient trouver leur solution dans une des salles du Luli. Jean-Christophe Chanteloup y met en place les éléments de «Lucia». Le principe? «*Faire un laser avec un laser*», explique le physicien. Dans la plupart des lasers, le «*pompage*» (l'apport d'énergie sur le matériau qui va émettre les photons laser) se fait avec des lampes flash. Rendement énergétique minable, source électrique énorme... Dans Lucia, ce [illegible] de laser de forte puissance qui remplacent les lampes. «*De quoi multiplier par [illegible] le rendement de conversion énergétique [illegible] diminuer drastiquement le chauffage et la taille.*» [illegible] pour le laser expérimental.» Le projet bénéficie d'une collaboration industrielle (Laselec à Toulouse) et le gouvernement [illegible] le budget d'ici deux à quatre ans. Dans quelques ans, un hôpital pourra-t-il passer commande. ■

SYLVESTRE HUET

(1) *Du Sol Fuchs et al, Nature Physics, janvier 2006*