

# STAR je v podstatě český CERN

**Text: Pavel Vachtl**

Foto: ©École polytechnique – J. Barande



## Gérard Mourou (75)

*Francouzský fyzik, specializující se na laserovou techniku. Roku 2018 získal Nobelovu cenu za fyziku, konkrétně za metodu generování velmi intenzivních ultrakrátkých optických pulzů. Tento objev umožnil vývoj laserových systémů s velmi vysokým výkonem a jejich zcela nové využití v průmyslu i v lékařství, například při operacích oka. G. Mourou je také duchovním otcem evropského výzkumného projektu ELI. Jedno z jeho center sídlí v Dolních Břežanech.*

**Z**atímco klasické urychlovače potřebují na urychlení částic pomocí elektromagnetického pole stovky až tisíce metrů, laserem poháněné kompaktní urychlovače se stejným výsledným efektem – výkonem – vejdou doslova na pracovní stůl,“ říká profesor Gérard Mourou, držitel Nobelovy ceny za fyziku, k jednomu z unikátních zařízení instalovanému v regionu STAR.

V roce 2018 profesor Gérard Mourou společně s kanadskou fyzičkou Donnou Stricklandovou získali Nobelovu cenu za fyziku, konkrétně za vynález takzvaného cvrlikavého zesílení pulzu (chirped pulse amplification – CPA). Tato metoda slouží k vytváření laserových pulzů zvláště vysokého výkonu s velmi krátkým trváním. To vše bez poškození laserového systému. Profesor Mourou a jeho žákyně i kolegyně Stricklandová vymysleli způsob, díky němuž byl nejprve protažen původní krátký laserový pulz, takže byl snížen jeho špičkový výkon (když je takto pulz protažen, frekvence laserového světla prochází změnou zvanou cvrlikání, odtud i název metody). Takto natažený pulz pak může být bezpečně zesílen a následně opět stlačen do velmi krátkého pulzu. Díky tomu se dále zásadně zvýší jeho intenzita a krátkodobý výkon, dnes často v řádu petawattů ( $10^{15}$  W). Doba jeho trvání řádově probíhá ve femtosekundách ( $10^{-15}$  s), což je i případ laserů pracujících v ELI Beamlines.

**Jaké myšlenky nebo inspirační zdroje vás v polovině 80. let přivedly k tomu, že jste mohli tento vynález uskutečnit?**

Tehdy jsem se zabýval fyzikou laserů s krátkými pulzy, které fungovaly na bázi barviv, ale bez zesilování jejich pulzů. Zesilování krátkých pulzů totiž přinášelo značné problémy, protože jsme velmi rychle dosahovali příliš velkých hustot energie. Pracoval jsem na Rochesterské univerzitě v New Yorku, kde jsme tehdy měli také program laserové (termonukleární) fúze, při kterém jsme využívali naopak laserů s velmi dlouhými pulzy přenášejícími velké objemy energie, avšak během delšího časového intervalu. Potřebovali jsme tyto dlouhé pulzy zesilovat, což se dařilo. Přítomnost těchto dvou programů vedle sebe, tedy vytváření velmi krátkých pulzů a zesilování dlouhotrvajících laserových pulzů pro účely fúze, vedla k myšlence jakéhosi přemostění či propojení obou oblas-

tí. Potřebovali jsme zkrátka najít způsob, jakým bychom mohli ultrakrátké pulzy konvertovat na velmi dlouhé a po jejich zesílení zase naopak, tedy stlačit je zpět do doby ultrakrátkých pulzů. Problém byl v tom, že doposud podobná metoda úpravy či konverze pulzů fungovala jen v oblasti elektromagnetických vln s mnohem delšími vlnovými délkami a s mnohem nižšími frekvencemi – konkrétně v oblasti mikrovln. Šlo tedy o radarovou technologii. My jsme tehdy museli s mojí studentkou Donnou Stricklandovou problémy spojené s vytvořením analogické metody v oblasti viditelného světla nejprve prodiskutovat a vyřešit teoreticky a poté vše také prakticky demonstrovat, prověřit v praxi. Čili takhle to celé začalo.

**Oblast laserové vědy v Evropě jste podpořil prostřednictvím svého návrhu na vytvoření výzkumné infrastruktury s názvem Extreme Light Infrastructure (ELI). Tato infrastruktura nyní sestává ze tří zařízení s extrémně výkonnými lasery umístěnými v České republice, Rumunsku a Maďarsku. Pulzní lasery pracující v rámci ELI používají v praxi právě vaši metodu laserového zesílení pulzů CPA, kterou jste teoreticky objevili už asi před 35 lety, jak jsme již uvedli. Dokonce jeden z vašich přímých žáků, Dr. Georg Korn, je nyní vědeckým ředitelem (manažerem vědy a techniky) českého centra ELI Beamlines v Dolních Břežanech. Co vás vedlo k myšlence podpory vývoje laserové technologie v Evropě tímto způsobem? Jak se stalo, že centra ELI byla vybudována právě v dotyčných místech? Je známo, že jste původně navrhoval vytvořit jedno velké laserové centrum.**

Myšlenka vznikla ještě během mého pobytu v USA. Potřebovali jsme postavit a zapojit do činnosti větší laserové systémy s mnohem vyšším výkonem. Když jsem se pak po 40 letech vrátil zpět do Francie, Evropská unie zahájila program výzkumné laserové infrastruktury nového typu. Proto jsem navrhl tuto konkrétní realizaci infrastruktury založené na extrémních světelných zdrojích ELI.

Ano, původně jsem plánoval výstavbu jednoho velkého centra, které mělo být umístěno ve Francii. Po diskuzi v rámci Evropské unie jsme však plán změnili, protože ve Francii, Británii, Německu apod. jsme již měli poměrně dost výzkumných center. Dali jsme tedy přednost výstavbě nových vědeckých center v rozvíjejících se zemích ▶







**99** *V současné době zkoumáme nové metody, jak je možné dále zvýšit špičkové výkony pulzních laserů. V příštích 10 nebo 20 letech v rámci ELI Beamlines hodně využijeme jejich schopnosti, pokud jde o urychlování nabitých částic velmi kompaktním způsobem, tedy v měřítku malých vzdáleností.*

*prof. Gérard Mourou*

• EU, jako jsou Maďarsko, Česká republika a Rumunsko.  
• Strávili jsme hodně času přípravami a diskusemi, často jsem v této souvislosti v těchto zemích pobýval. Všechny tři byly z této příležitosti velmi nadšeny, stejně jako z finančního příspěvku Evropské unie určeného právě pro tyto účely. Všechny tři země pak vlastně stavěly společně dohromady jednu infrastrukturu ELI, ačkoliv centrum v každé zemi má vlastní specifikace a odlišné výzkumné zaměření.

• Pokud jde o doktora Korna, jsme ve styku dodnes. Mluvíme spolu přibližně jednou týdně a máme velmi dobré vztahy.

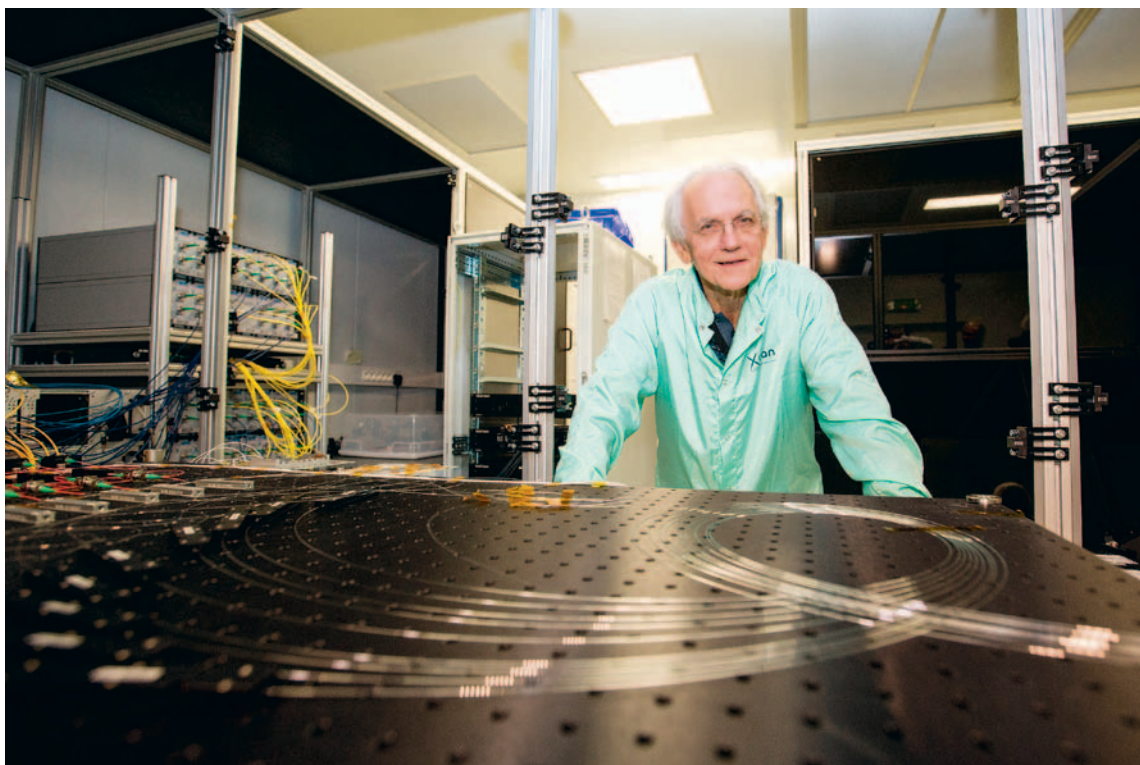
• **Femtosekundové intenzivní laserové pulzy, které jsou vytvářeny pomocí metody CPA, se nyní používají rovněž v průmyslu k velmi přesnému řezání materiálů a také v medicíně za účelem provádění nové generace laserových očních operací (FemtoLasik). Tato**

**metoda umožňuje lékařům provádět miliony korekčních laserových očních operací. Jaké zlepšení v léčbě očních chorob použití těchto laserových metod přináší?**

Při podobných zákrocích (například při řezání tkáně) potřebujete mít k dispozici dostatečně přesné a rovné ostří. V principu je femtosekundový pulzní laser mnohem přesnějším nástrojem než jakékoliv mechanické ostří (např. přístroj vybavený ostrým žiletkovým nožem zvaný mikrokeratom), a je tedy i mnohem spolehlivější a bezpečnější. Proto také případné vedlejší, tedy nechtěné poškození tkáně je v případě použití femtosekundového laseru mnohem menší. Sami pacienti, pokud si mohou vybrat mezi operacemi prováděnými mikrokeratomem a femtosekundovým laserem, většinou volí druhou možnost, která má mnohem méně sekundárních následků.

**Nyní se obraťme směrem k budoucímu rozvoji pulzní laserové technologie. Pokud vím, jste ředitelem IZEST (International Center for Zetta-Exawatt Science and Technology – Mezinárodní středisko pro zetta-exawattovou vědu a technologii), vedete rovněž skupinu odborníků, která má za cíl navrhnout upgrade projektu ELI po roce 2020. K jakým novým příležitostem povede podle vašeho názoru budoucí rozvoj podobných laserových systémů? Bude možné zvýšit výkon**

**Gérard Mourou →**  
je duchovním  
otcem evropského  
výzkumného  
projektu ELI.



### **laserů tisíckrát až milionkrát oproti současnosti, jak vyplývá z názvu IZEST? Jaké možnosti nabídne ELI Beamlines vědcům během příštích 10 nebo 20 let?**

V současné době skutečně zkoumáme nové metody dalšího možného zvyšování špičkových výkonů pulzních laserů a také je v rámci zařízení ELI zkoušíme, jak v Praze, tak v Maďarsku a v Rumunsku. V zásadě půjdeme dále také cestou zkracování trvání pulzu na jednu tisícinu a méně, avšak metody budou jiné než doposud. Zároveň tato krátká doba odpovídá jednomu cyklu příslušné vlny. Využijeme zde speciálních zrcadel vytvořených z relativistického plazmatu, což ovšem povede také ke změně režimu laseru – z viditelného laserového světla se pak stanou koherentní rentgenové paprsky (X-rays), adekvátně se zmenší vlnová délka světla. Celková energie pulzu se sice nezmění, avšak špičkový, momentální výkon aparatury je roven množství energie protékající za určitý čas. Pokud tedy tisíckrát nebo milionkrát zkrátíme dobu trvání pulzu (z femtosekund na attosekundy a zeptosekundy), zároveň tisíckrát nebo milionkrát zvýšíme i hodnotu odpovídajícího špičkového pulzního výkonu.

V příštích 10 nebo 20 letech v rámci ELI Beamlines hodně využijeme schopnosti laserů, pokud jde o urychlování nabitých částic velmi kompaktním způsobem, tedy v měřítku malých vzdáleností. Zatímco klasické urychlovače potřebují na urychlení částic pomocí elektromagnetického pole stovky až tisíce metrů, laserem poháněné kompaktní urychlovače se se stejným výsledným efektem – výkonem – vejdou doslova na pracovní stůl.

### **Umožní podle vašeho názoru vývoj laserové technologie v dohledné době zažehnutí řízené termonukleární fúze?**

Řekl bych, že v dohledné době spíše ne, i když jednou se to stane. Pro informaci – termonukleární fúze potřebuje milionkrát delší laserové pulzy (v délce trvání řádově nanosekund) a celkovou dodávku poměrně obrovského množství energie, což je přesný opak toho, čeho se nám nyní daří dosahovat po-

mocí femtosekundových a ještě kratších laserových pulzů. Je to zcela odlišná oblast a blízké zažehnutí termonukleární fúze pomocí laserů není pravděpodobné. Nyní jsme úspěšní v oblasti „diagnostických“ ultrakrátkých laserových pulzů, které nám umožňují velmi detailní snímkování mikrostruktur a mikroprocesů uvnitř hmoty.

### **Jaké možnosti nabízejí lasery v oblasti pohonu meziplanetárních kosmických lodí?**

Pokud jde o tuto oblast, v současné době nejsem moc optimistický. Lasery s krátkými pulzy nám ale mohou pomoci s problémem tzv. kosmického smetí, tedy úlomků raket a družic, které čím dál více zamořují oběžné dráhy kolem Země. Pomocí přesně mířených laserových pulzů je možné dodat úlomkům takové impulzy, že způsobí jejich pokles do hustých vrstev atmosféry, kde shoří.

### **Pokud jde o celý region STAR (Science and Technology Advanced Region – Vyspělý region pro vědu a technologii), tedy výzkumný a inovační klastr, který sdružuje asi 1000 členů vědeckých a technických pracovníků včetně studentů, s jakými podobnými vědeckými centry v Evropě nebo ve světě je tento klastr srovnatelný? Jak česká vláda a Evropská unie podporují střediska tohoto typu, konkrétně region STAR?**

Podobné, ale mnohem větší výzkumné centrum je možná CERN. Také blízko Grenoble a paralelně s jeho univerzitou včetně jejího kampusu funguje celý klastr výzkumných infrastruktur. V obou těchto případech vidíme i zapojení mnoha studentů do výzkumu. Myslím, že podpora regionu STAR i vědecké infrastruktury ELI je ze strany Evropské unie velmi slušná. ELI je ostatně unikátním projektem i ve světovém měřítku.

★