



## 上海激光康普顿散射伽马源的发展和展望

王宏伟 范功涛 刘龙祥 曹喜光 李薇 张岳 胡新荣 李鑫祥 王俊文 鲁同所 黄勃松 郝子锐 匡攀 黄玉华

### Development and Prospect of Shanghai Laser Compton Scattering Gamma Source

WANG Hongwei, FAN Gongtao, LIU Longxiang, CAO Xiguang, LI Wei, ZHANG Yue, HU Xinrong, LI Xinxiang, WANG Junwen, LU Tong suo, HUANG Bosong, HAO Zirui, KUANG Pan, HUANG Yuhua

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019043>

#### 引用格式:

王宏伟, 范功涛, 刘龙祥, 曹喜光, 李薇, 张岳, 胡新荣, 李鑫祥, 王俊文, 鲁同所, 黄勃松, 郝子锐, 匡攀, 黄玉华. 上海激光康普顿散射伽马源的发展和展望[J]. *原子核物理评论*, 2020, 37(1):53–63. doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019043

WANG Hongwei, FAN Gongtao, LIU Longxiang, CAO Xiguang, LI Wei, ZHANG Yue, HU Xinrong, LI Xinxiang, WANG Junwen, LU Tong suo, HUANG Bosong, HAO Zirui, KUANG Pan, HUANG Yuhua. Development and Prospect of Shanghai Laser Compton Scattering Gamma Source[J]. *Nuclear Physics Review*, 2020, 37(1):53–63. doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019043

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 用于核物理研究的精密激光光谱技术的发展和展望

Development and Prospect of Precision Laser Spectroscopy Techniques for Nuclear Physics Study

原子核物理评论. 2019, 36(2): 161–169 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.02.161>

#### 类氢离子的相对论康普顿轮廓 (英文)

Relativistic Compton Profile of H-like Ions

原子核物理评论. 2017, 34(2): 242–251 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.02.242>

#### 中国散裂中子源小角中子散射谱仪探测器研制

Small Angle Neutron Scattering Spectrometer Detector of China Spallation Neutron Source

原子核物理评论. 2019, 36(2): 204–210 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.02.204>

#### 香港大学在束伽玛谱学研究 with 新一代伽玛探测器阵列(英文)

Studies of in-beam Gamma Spectroscopy and Next-generation Gamma Detector Array at HKU

原子核物理评论. 2017, 34(3): 332–337 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.34.03.332>

#### 基于FPGA的数字反符合 $\gamma$ 谱仪系统设计

Design of Digital Anti-coincidence  $\gamma$  Spectrometer System Based on FPGA

原子核物理评论. 2019, 36(4): 456–461 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.36.04.456>

#### 基于XUV激光脉冲和反应显微成像技术的原子分子光物理实验平台

Experimental Platform of Atomic and Molecular Photophysics Based on XUV Laser and Reaction Microscope

原子核物理评论. 2020, 37(2): 225–232 <https://doi.org/10.11804/NuclPhysRev.37.2019065>

文章编号: 1007-4627(2020)01-0053-11

## 上海激光康普顿散射伽马源的发展和展望

王宏伟<sup>1,2,3</sup>, 范功涛<sup>1,2</sup>, 刘龙祥<sup>1,2</sup>, 曹喜光<sup>1,2,3</sup>, 李薇<sup>1,2</sup>, 张岳<sup>2,3</sup>, 胡新荣<sup>2,3</sup>, 李鑫祥<sup>2,3</sup>,  
王俊文<sup>2,3,4</sup>, 鲁同所<sup>2,5</sup>, 黄勃松<sup>2</sup>, 郝子锐<sup>2,3</sup>, 匡攀<sup>2,3</sup>, 黄玉华<sup>5</sup>

- (1. 中国科学院上海高等研究院, 上海 201210;
2. 中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800;
3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 上海科技大学, 上海 201210;
5. 西藏大学, 拉萨 850000)

**摘要:** 激光康普顿散射 (Laser Compton Scattering, LCS) 光源, 是一种基于相对论电子束与激光光子相互作用的新型 X-ray 或 Gamma-ray 光源。它具有能量高、波长短、脉冲快和峰值亮度高的特性, 已成为国际先进光源技术的重要选项之一。本文介绍了激光康普顿散射光源的产生原理、国内外发展现状以及目前国际上运行和在建的激光康普顿散射光源装置, 其中重点介绍了上海光源二期正在建设的上海激光电子伽马源 (Shanghai Laser Electron Gamma Source, SLEGS) 装置, 以及在这一光源装置上可以开展的核物理、核天体物理、核废料处理及核医学应用等研究。随着上海软 X 射线自由电子激光试验装置 (Soft X-ray Free Electron Laser, SXFEL) 升级为用户装置, 以及未来十三五国家重大科技基础设施-硬 X 射线自由电子装置 (Shanghai High repetition rate XFEL aNd Extreme light facility, SHINE) 的建设完成, 基于直线电子加速器 (LINear ACcelerator, LINAC) 的康普顿散射光源的伽马能量将会达到 GeV 量级的高能量。超短脉冲、高极化度、高通量的激光康普顿散射光源将迎来新的发展机遇, 基于康普顿伽马光源的核物理、天体物理、粒子物理及应用基础研究也必将迈上一个新台阶。

**关键词:** 激光康普顿散射; 伽马光源; 上海激光电子伽马源; 光核物理

**中图分类号:** O571.1; O571.42<sup>+</sup>4

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.37.2019043

### 1 引言

随着高能电子加速器技术和超强功率激光技术的快速发展, 利用高功率激光或者自由电子激光与相对论电子束通过逆康普顿散射效应来产生一个高亮度、短脉冲以及能量可调的康普顿光源正成为国际研究热点之一。激光康普顿散射光源, 是一种新型的 X 射线 (X-ray) 或伽马射线 (Gamma-ray) 光源, 由于它的输出光具有人们对新一代光源所期望的高能量、短波长、短脉冲和高峰值亮度的特性, 因而已成为国际先进光源技术研究领域的前沿课题之一<sup>[1-2]</sup>。LCS 原理 (如图 1 所示) 为激光和相对论电子束通过逆康普顿散射过程发生相互作用, 电子损失部分能量发生小角度偏转; 光子被散射后能量增加, 在实验室系前角方向出射, 如果入射激光是偏振光, 那么散射后的光子也具有偏振特性, 特别在 180° 的对头碰撞时, 能获得高达 90% 以上偏振度 (又称为极化度) 的光子 (X/γ) 束。

散射光子的能量公式表示为

$$E_{\gamma} = \frac{E_i (1 - \beta \cos \theta_1)}{1 - \beta \cos \theta + \frac{E_i \{1 - \cos(\theta_1 - \theta)\}}{E_e}}, \quad (1)$$

式中:  $E_e$  和  $E_i$  分别为高能电子和入射激光的能量;  $\theta_1$  为激光入射角度;  $\theta$  和  $E_{\gamma}$  分别为散射光子出射角度和出射能量;  $\beta=v/c$ ,  $v$  为电子速度,  $c$  为光速。由式 (1)

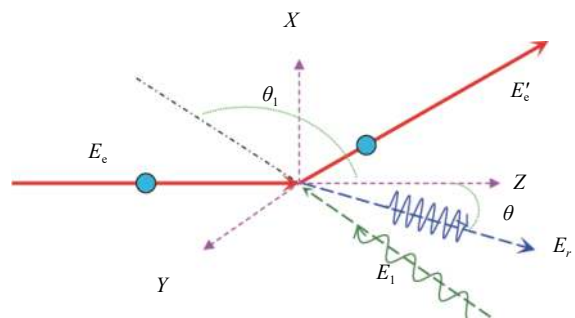


图 1 (在线彩图) 激光康普顿散射 (LCS) 原理示意图

收稿日期: 2019-08-02; 修改日期: 2019-12-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11875311); 上海光源工程二期项目 (1173SRCZ01)

作者简介: 王宏伟 (1971-), 男, 内蒙古赤峰市人, 研究员, 博士, 从事中低能核物理实验研究; wanghongwei@zjlab.org.cn.

可知, 改变出射伽马能量  $E_\gamma$  的方法有三种: 改变入射激光能量、改变电子束能量以及改变激光和电子束碰撞角度。对于 X-ray 光源, 是低能光子被电子弹性散射的过程, 即散射光子的能量与电子静止能量 (0.511 MeV) 的比值远小于 1, 此时的康普顿散射又被称为汤姆逊散射 (Thomson scattering)。实验室微分截面角分布即为著名的 Klein-Nishina 公式, 其中  $\gamma$  为洛伦兹因子  $1/\sqrt{1-\beta^2}$ 。当激光相对于电子束的入射角度为  $180^\circ$  时, 称为康普顿背散射 (Backward Compton Scattering-BCS), 它具有以下的特点:

- (1) 高能电子束时,  $\beta \sim 1$ ,  $\theta = 0$ ,  $\theta_1 = 180^\circ$ ,  $E_\gamma^{\max} \approx 4\gamma^2 E_l$ , 散射光子具有最大能量;
- (2) 散射光子集中在前向半角为  $\theta \leq 1/\gamma$  的圆锥角内, 且电子能量越高, 圆锥角度越小;
- (3) 散射光子微分截面与  $\gamma^2$  成正比, 即电子束方向的散射光子强度与  $\gamma^2$  成正比;
- (4) 沿着电子束方向的散射光子极化度接近 100%, 角度越小极化度越高。

当激光束的能量密度较小时, 单个入射光子与电子碰撞产生一个散射光子, 称为线性康普顿散射; 当激光束的能量密度足够大时, 可能产生大于 2 个入射光子与电子碰撞产生一个散射光子的情形, 称为非线性康普顿散射。可由入射光子归一化四矢量势  $a$  表示 [3]:  $a = 8.6 \times 10^{-10} \lambda_l I^{1/2}$ ,  $\lambda_l$  为激光波长 ( $\mu\text{m}$ ),  $I$  为激光功率密度 ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ),  $a < 1$  发生线性康普顿散射,  $a \geq 1$  发生非线性康普顿散射。例如: (1)  $\text{CO}_2$  激光器:  $\lambda_l = 10.64 \mu\text{m}$  波长, 如果  $I = 881 \text{ W}/\text{cm}^2$ ,  $a = 2.717 \times 10^{-7}$ , 即为线性康普顿散射, (2) 超强激光器:  $\lambda_l = 0.832 \mu\text{m}$ , 如果  $I \geq 10^{19} \text{ W}/\text{cm}^2$ ,  $a \geq 2.263$ , 即为非线性康普顿散射。

1923 年, 在研究石墨对 X 射线的散射实验中, 康普顿因发现自由电子对入射光子的康普顿散射效应, 获得 1927 年诺贝尔奖, 吴有训先生也对康普顿散射的研究做出了重要的贡献, 因此康普顿散射又称为康普顿-吴有训效应 (Compton-Wu effect)。20 世纪 40 年代, Feenberg 等 [4] 在测量宇宙环境中的高能电子的能量变化时, 证实了散射光子通过高能电子束后具有极强的频移现象。20 世纪 60 年代第一台激光器诞生以后, 1963 年 Milburn [5] 和 Arutyunian 等 [6] 提出利用激光与相对论电子碰撞产生高能光子的概念。同年, Fiocco 等 [7] 利用  $800 \mu\text{s}$  激光脉冲与低能电子束相互作用观察到散射光子。1965 年 Bemporad 等 [8] 用红宝石激光与  $6 \text{ GeV}$  的电子散射, 获得  $425 \text{ MeV}$  的伽马光子。1978 年第一个基于 LCS 的伽马射线装置 LADON 在意大利的 Fras-

cati 开始建造 [9]。1983 年美国 Wyoming 大学的 Engler 等 [10] 首次发现非线性汤姆逊散中的二次谐波现象。1994 年 Kim [11] 设想利用超短脉冲激光与电子束在  $90^\circ$  方向碰撞来获得超短 X 射线脉冲。1995 年 Schoenlein 等 [12] 利用脉冲长度为  $100 \text{ fs}$  的超短脉冲激光, 与  $90 \mu\text{m}$  横向尺寸的电子束成  $90^\circ$  角相互作用, 获得  $300 \text{ fs}$ ,  $30 \text{ keV}$  的超短 X 射线脉冲。1984 年美国布鲁克海文国家实验室 (BNL) 建成 LEGS (The Laser Electron Gamma-ray Source) 装置 [13], 日本产业技术综合研究所 (AIST) 建成 LCS 线站 [14], 1998 年日本 SPring-8 (Super Photon ring-8 GeV) 同步辐射装置建成 LEPS-I (The Laser Electron Photon Experiment at SPring-8) 线站 [15] 以及俄罗斯建成 ROKK (The Backward Scattered Compton Quanta light source in Russian) 装置 [16], 2002 年, 美国劳伦斯-利弗莫尔实验室 (LLNL) 的 PLEIADES 装置 (The Picosecond Laser-Electron Inter-Action for the Dynamic Evaluation of Structures), 利用  $50 \sim 100 \text{ MeV}$  的电子束与  $800 \text{ nm}$  的飞秒激光进行了碰撞实验, 获得  $70 \text{ keV}$  光子的产额为  $10^7$  photons/pulse, 对应的亮度为  $10^{16}$  photons/(s·mm<sup>2</sup>·mrad<sup>2</sup>·0.1% BW) [17] (Band Width)。2003 年美国杜克大学自由电子激光实验室 (DFELL) 与三角大学联合建成 HIGS (The High Intensity Gamma-ray Source) 装置 [18], 2007 年日本兵库县大学建成 New SUBARU B01 线站 (和 SPring-8 在同一园区) [19]。2008 年美国劳伦斯-利弗莫尔实验室 (LLNL) 又建成了 Thomson Radiated Extreme X-ray (T-RAY) 源, T-RAY 装置的峰值亮度比当时同步辐射光源高出约 10 个数量级 [20], 2009 年继 T-RAY 之后, LLNL 在高亮度、准单色、能量可调的伽马源上再次取得了惊人的成就。MEGaRAY (M-RAY) 在  $\text{MeV}$  能区内, 其峰值亮度可比其它任何人造光源高出 15 个数量级。2011 年日本相继有 SAGA-LCS 和 UVSOR (Ultra Violet Synchrotron Orbital Radiation)-II/III 专用康普顿伽马光源建成, 主要用于核废料嬗变和伽马成像等应用基础研究 [21]。2013 年日本 LEPS 和美国 HIGS 装置相继升级为 LEPS2 和 HIGS2 装置, 具体如表 1 所列。

2000 年左右, 国内基于储存环电子束或直线加速器电子束的康普顿背散射光源设计方案相继提出, 如中国科学院上海应用物理研究所的蔡翔舟等 [22] 基于上海同步辐射光源 (Shanghai Synchrotron Radiation Facility-SSRF) 的 SLEGS 方案, 中国科学技术大学张善才等 [23] 基于合肥同步辐射光源 (National Synchrotron Radiation Laboratory-NSRL), 提出了远红外自由电子

表 1 世界上的主要 X/γ 康普顿光源装置及其主要参数

装置名称	所在位置	储存环	散射方法	能量定标	电子能量/GeV	电子电流/A	激光能量/eV	激光波长/nm	激光功率/W	伽马能量/MeV	伽马能分辨/%	能量展宽/MeV	伽马强度/s <sup>-1</sup>	运行时间
Ladon		Adone	BCS	Collimation	1.5	0.1	2.45			5~80	1.4~10	0.07~8	10 <sup>5</sup>	1978—1993 (关闭)
Taladon	Frascati, Italy	Adone	BCS	Internal tagging	1.5	0.1	2.45			35~80	5	2~4	5×10 <sup>5</sup>	
LEGS		NSLS	BCS	External tagging	2.584	0.3~0.35		333, 351, 364	9	180~330	1.6	5	4×10 <sup>6</sup>	1987—2006 (关闭)
LEGS-2	Brookhaven, US	NSLS	BCS	External tagging	2.8	0.3~0.35		302	3	285~420	1.1	5	2×10 <sup>6</sup>	
Graal	Grenoble, France	ESRF	BCS	External tagging	6.03	0.2~0.5		514, 333, 351, 364	10, 8	1100, 1530	1.1	16	2×10 <sup>6</sup> (1~2)×10 <sup>6</sup>	1989—2008 (关闭)
ROKK-IM	Novosibirsk, Russia	VEPP-4M	BCS	Collimation /tagging	1.4	0.1	1.17~3.51			100~1600	1~3		2×10 <sup>6</sup>	1993—
LEPS		SPRING-8	BCS	Internal tagging	7.975	0.1		355	8	1500~2400	0.5		(1~3)×10 <sup>6</sup> (1~3)×10 <sup>5</sup>	1999—
LEPS-2	Harima, Japan	SPRING-8	BCS	Internal tagging	7.975	0.1		355, 266	16, 2	1500~2400, 1500~2900	0.5		>10 <sup>7</sup> >10 <sup>6</sup>	2013—
BL01	Harima, Japan	NewSUBARU	BCS	Collimation	0.5~1.5	0.3		1064, 532, 10540	5, 5, 20	37.6, 73, 3.9			~10 <sup>6</sup> ~10 <sup>6</sup>	2007—
ETL-LCS	AIIST, Japan	TERAS	BCS	Collimation	0.2~0.8	0.4		1053, 532, 527, 551, 263	5, 15, 2, 0.5	3~20, 3~20, 5~30, 7~40			5×10 <sup>5</sup> 5×10 <sup>4</sup> 2×10 <sup>5</sup> 10 <sup>4</sup> 7×10 <sup>3</sup>	1985—
LCS	Japan	UVSOR-II/III	BCS		0.75	0.35		800, 1944	2, 5	6.6	1.1~5.4		>10 <sup>7</sup> 10 <sup>5</sup> -10 <sup>7</sup>	2011— 2016—
HIGS/HIGS2	Durham, NC, US	Duke-SR	BCS	Collimation	0.24~1.2	0.01~0.1	1.17~6.53			1~100(158)	0.8~10	0.008-8.5	10 <sup>6</sup> -3×10 <sup>9</sup>	1996—2013-
LUCX	Japan	Linac	BCS	Collimation	0.04	500		1064		~0.03			10 <sup>5</sup>	拟建
TTX	Beijing, China		BCS	Collimation	0.045	700		800	500mJ(30fs)	0.024~0.048			~10 <sup>7</sup>	建成
	USA	SLAC(FEL)	BCS	Collimation	0.06	500		800	100mJ(50fs)	0.02~0.085			~10 <sup>8</sup>	在建
	USA	T-REX	BCS	Collimation	0.043~0.225	1000		400	~1				~10 <sup>7</sup>	拟建
LLNL	USA	PLEIADES	BCS	Collimation	0.05~0.08	250		800	500mJ(50fs)	0.04~0.14			~10 <sup>7</sup>	拟建
ELI-NP	Romania	Linac	BCS	Collimation	0.72	1300		280fs	10PW	19.5			10 <sup>13</sup>	在建
ELFE	DESY, Germany	XFEL	BCS	tagging	15~30	630	2.41~3.52			3000~20000			10 <sup>7</sup>	拟建
IGS	California, USA	Linac	BCS	Collimation	0.547		2.34	532	620mJ	<10.8			10 <sup>14</sup>	拟建
LNF-INFN	Italy	DAΦNE	BCS	Collimation	0.064~0.072	500		800	6J(200fs)	0.02~0.5			~10 <sup>10</sup>	拟建
MEGA-ray	LLNL, USA	SLAC	BCS	Collimation	0.25	250		532	0.15J	0.5~2.5	0.10%		~10 <sup>8</sup>	拟建
SLEGS-p1	Shanghai, China	SXFEL	BCS	Collimation	0.84	500		1064	100	3.7~88.9			~10 <sup>8</sup>	建议
SLEGS-p2	Shanghai, China	HXFEL	BCS	Collimation	8	20~200	XFEL	4.96	TW/PW	100~8000	/	/	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	建议

激光(Free Electron Laser-FEL)和电子背散射的方案。中国科学院高能物理研究所激光实验室庄杰佳等<sup>[24]</sup>提出了利用北京正负电子对撞机(Beijing Electron Positron Collider-BEPC)第二对撞点的直线段,产生 LCS- $\gamma$ 源方案。2001年,中国工程物理研究院李正红等<sup>[25]</sup>提出利用光阴极射频(Radio Frequency-RF)腔注入器及 30 MeV 射频加速器产生的电子束,与 Nd:YAG 激光在光腔中的强光场作用来产生康普顿背散射的高通量 X 射线光源方案。中国科学院上海应用物理研究所以及清华大学工程物理系等研究团队,自 2003 年以后陆续发表了有关 LCS 光源的模拟分析研究成果和装置建设情况。我国目前已报道的 LCS 光源试验装置有两台,分别是中国科学院上海应用物理研究所的 SLEGS 样机装置<sup>[26]</sup>和清华大学的汤姆逊散射装置(Tsinghua Thomson scattering X-ray-TTX)<sup>[27]</sup>(光子与电子散射过程中产生高能伽马射线称为康普顿散射,产生低能 X 射线称为汤姆逊散射)。SLEGS 样机基于 150 MeV 的电子直线加速器 LINAC 装置,分为三期, I 和 II 期的 X 光子产额分别为  $5.2 \times 10^2/s$  和  $1.7 \times 10^3/s$ , 散射光子的最大能量为 29~32 keV, III 期主要为可变角度康普顿散射模式的关键技术验证。清华大学的汤姆逊散射装置(TTX)建于 2009 年,其 X 光子产额为  $2.1 \times 10^4/s$ , 散射光子的最大能量为 4.6 keV, 2011 年升级到 X 光子产额为  $1.0 \times 10^6/s$ , 散射光子的最大能量为 51.7 keV, 目前正在开展新的 0.2~4.8 MeV 逆康普顿散射光源的研制。2017 年中国科学院高能物理研究所和中国原子能科学研究院等联合在北京正负电子对撞机 BEPCII 的 10 号厅北京试验束线上验证 LCS 关键技术<sup>[28]</sup>。

目前康普顿散射光源从能量上分为 X-Ray 汤姆逊散射光源,主要基于 100 MeV 左右的直线电子束装置,而  $\gamma$ -Ray 康普顿散射光源,则基于 GeV 电子束流装置,从激光与电子加速器类型来分,有这样的三种类型:(1)基于电子储存环装置+低功率激光器,如日本的 LEPS/LEPS2 线站, NewSUBARU B01 线站等,是目前主要的伽马光源产生方式,利用光源储存环电子和外部连续或准连续激光碰撞产生,作为同步辐射的线站出现,主要以康普顿背散射碰撞为主,由于商业激光器的低功率特点使得产生伽马束的通量低、脉冲宽;(2)基于电子储存环装置+插入件产生的同步辐射 X 射线,如美国的 HIGS 装置,其利用储存环插入件产生的同步辐射光源和相对论电子的再次碰撞产生,特点是伽马源的通量较高,但是伽马束斑和晃动较大, X 射线反射镜的研制难度大;(3)基于直线电子加速器+超强超短激光(非线性康普顿光源),特点是超短脉冲、高亮度、高极

化度等,缺点是时间同步、空间对准的工艺技术难度大,产生韧致辐射本底较大,目前已经有专业组在逐步解决这些问题。已经在建的第三种类型,如欧洲 ELI-NP(The Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics) GBS(Gamma Branch System)装置<sup>[29]</sup>,是未来新一代的超短伽马光源产生方式,为直线电子加速器和大型超强、超短脉冲激光装置相结合的产物。由于逆康普顿散射光源的伽马束流具有通量高、准单色、高极化、能量可调等独特性能,因此伽马源相关的关键技术、实验测量及应用研究已成为国际上的研究热点。特别是欧洲 ELI-NP 装置计划的提出,使得利用直线电子加速器和超强超短激光实验装置相结合的新型高亮度康普顿光源装置成为目前人们关注的热点。

基于伽马源装置的低能区(0~30 MeV)光核物理主要研究方向有原子核结构、原子核集体激发模式(GDR, PDR 等)、原子核的准氦核衰变和原子核的介子发射等基础研究; LCS 装置在伽马射线成像、伽马辐照效应、医学同位素产生、探测器定标、伽马嬗变、核数据测量和新能源产生等基础应用研究方面具有广泛的用途,伽马束与核相互作用如图 2 所示;中低能区(30~140 MeV)主要是准氦核衰变区,这一能区的反应截面降低明显;在伽马能量大于 140 MeV 能区主要是介子产生的强子物理研究范围<sup>[19, 29]</sup>。

## 2 运行和在建的 LCS 光源装置

欧洲早期建有康普顿散射光源装置,如法国 GRAAL(Gamma Ray Astronomy at ALmeria)装置,俄罗斯的 ROKK 装置等,目前这些装置都已经或接近退役,近些年鲜有研究结果发表。新的光源装置中也有建造这类线站的计划,如西班牙光源 ALBA(CELLS Cerdanyola del Valles, Barcelona, Spain)的康普顿散射站<sup>[30]</sup>加拿大光源 CLS(Canadian Light Source)<sup>[31]</sup>和韩国 PLS(Pohang Light Source)光源<sup>[32]</sup>上也提出类似的 LCS 线站计划,但近些年因为各种原因而搁置下来没有获批建设。下面我们简单介绍目前最活跃的几个 LCS 线站装置情况。

### (1) 日本的 LEPS/LEPS2 装置

如图 3 所示(取自文献<sup>[33]</sup>),基于 SPring-8 储存环,产生高能 1.4~2.4 或者 1.4~2.9 GeV 伽马束。LEPS 及 LEPS-II 在高能粒子物理的介子相关研究、重子及其奇异态的相关研究领域,特别是 s 夸克强子态、五夸克态研究方面做出了具有较大影响力的工作。

### (2) 日本的 NewSUBARU B01 装置

如图 4 所示<sup>[34]</sup>,同样位于 Spring-8 园区内,是独

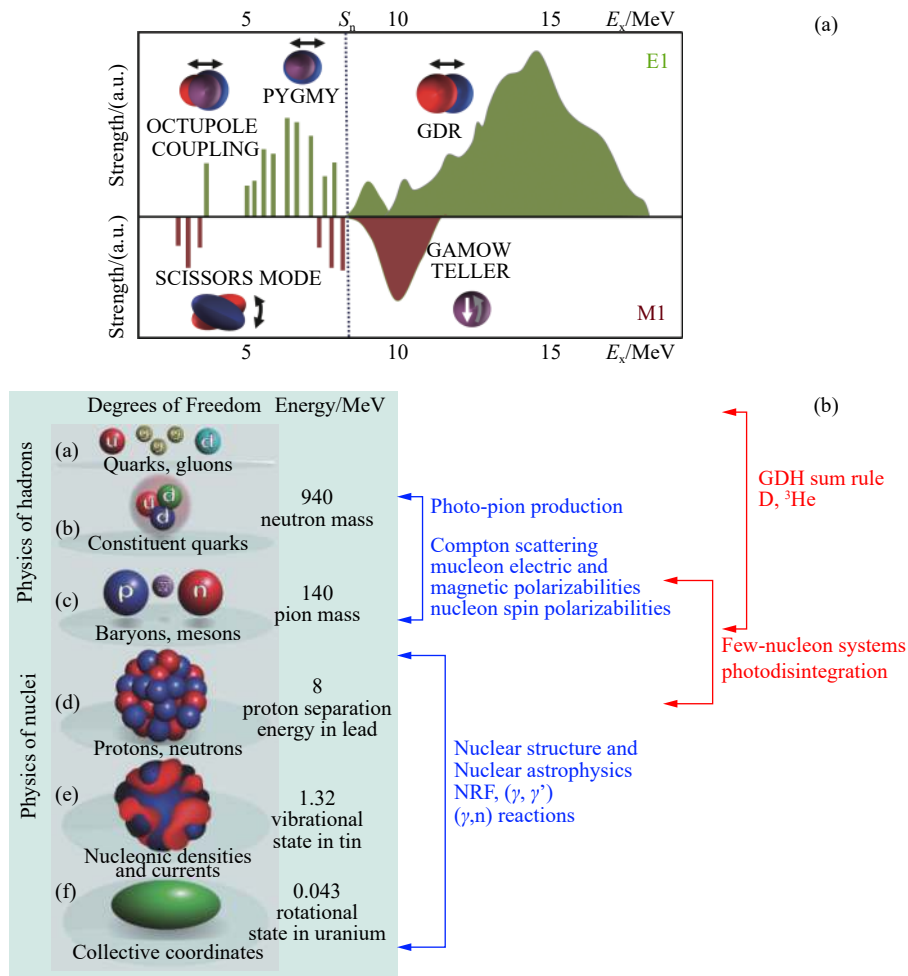


图 2 原子核的集体运动模式<sup>[29]</sup>(a) 和光核物理的主要研究范围<sup>[19, 35]</sup>(b)

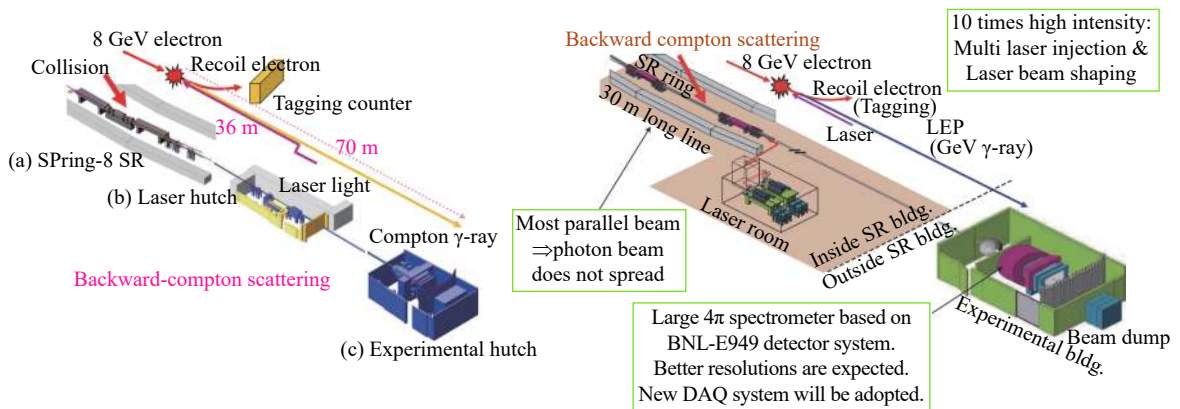


图 3 日本 Spring-8 的 LEPS/LEPS II 线站<sup>[33]</sup>

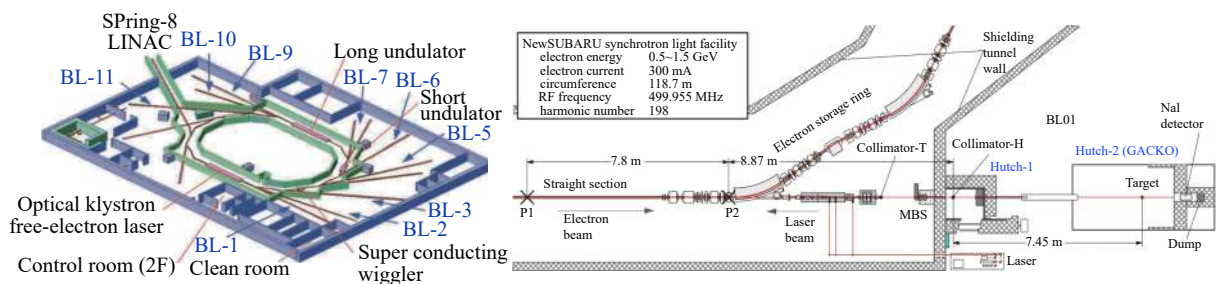
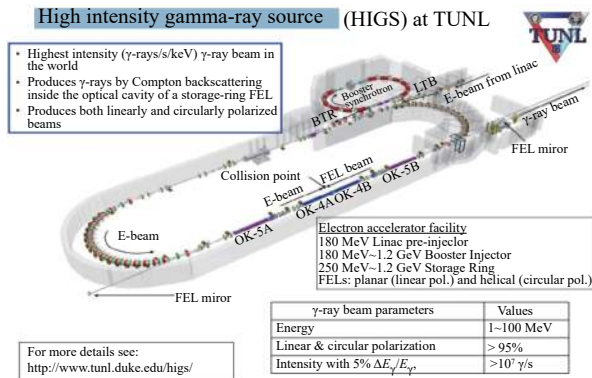


图 4 日本 NewSUBARU B01 的 LCS 线站<sup>[34]</sup>

立的一座同步辐射装置，由兵库县大学高度产业科学技术研究所运行，基于小型储存环装置，可产生6~70MeV范围内的中低能伽马束。主要研究工作包括国际原子能机构(IAEA)光核反应截面数据测量、伽马射线成像、伽马射线正电子产生、极化伽马束实验、核废料嬗变机制研究等原理性实验验证工作。



### (3) 美国的 HIGS 装置

如图 5 所示<sup>[35]</sup>，基于储存环装置，利用储存环电子与自由电子激光碰撞，产生 1~100 MeV(HIGS)/1~150 MeV(HIGS2) 中能伽马束流，在核天体物理，特别是  $^{16}\text{O}(\alpha, \gamma)^{12}\text{C}$  截面测量、核结构 (GDR 测量)、轻核的光致解离截面研究做出了重要的工作成果。

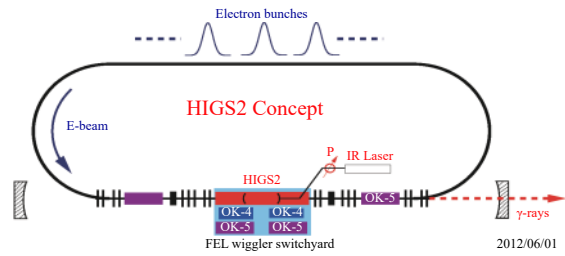


图 5 美国 HIGS/HIGS2 装置<sup>[35]</sup>

### (4) 欧洲 ELI-NP GBS 装置

如图 6 所示<sup>[36]</sup>，正在建设中，由两台超功率激光 HPLS(High Power Laser System)和一台低能伽马源 GBS(Gamma Branch System)组成，其中 2 个 10 PW 相干激光器，强度达到  $10^{23} \sim 10^{24} \text{ W/cm}^2$ ，电场  $10^{15} \text{ V/m}$ 。伽马光源流强为  $10^{13} \text{ photons/s}$ ，伽马能量

<19.5 MeV，由外部激光与 360 和 700 MeV 直线加速器 LINAC 的电子碰撞产生，原计划 2017 年建成，由于经费问题，ELI-NP 的伽马源部分建成时间一再推迟。

ELI-NP 装置主要研究目标有：基础物理、核物理与核天体物理、应用研究有材料科学、生命科学以及核材料处理。

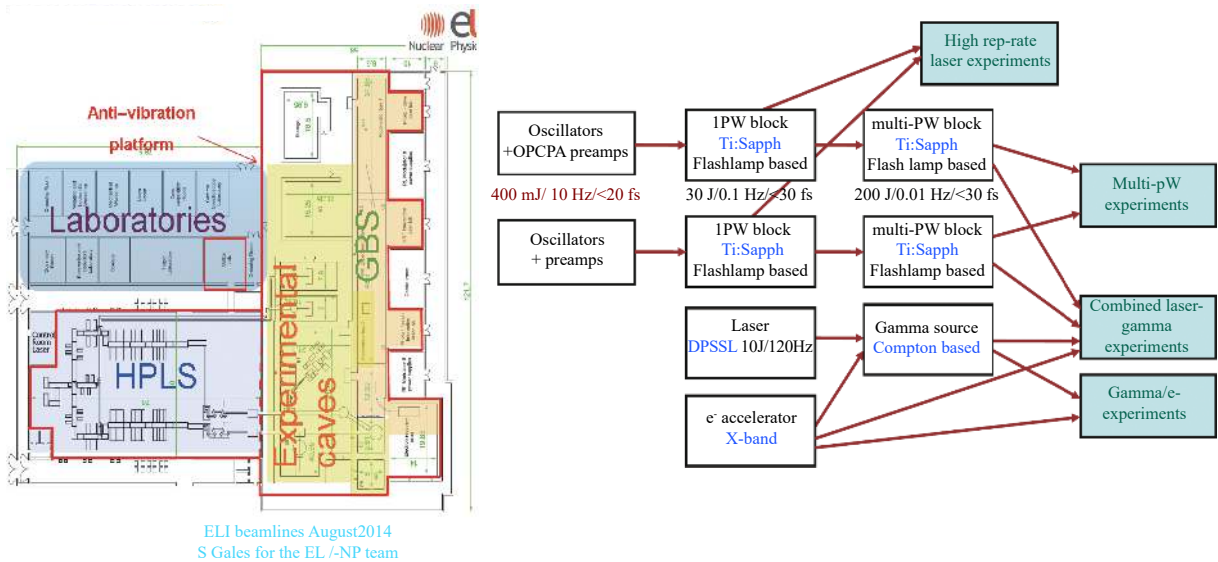


图 6 欧盟 ELI-NP 装置设计和布局<sup>[36]</sup>

### (5) 上海激光电子伽马源 (SLEGS)<sup>[37]</sup>

由中国科学院上海应用物理研究所核物理室设计，是上海光源线站二期建设的 16 条线站之一，布局如图 7 所示，目前正在建设中。利用外部引入波长为

$10.64 \mu\text{m}$ /连续波 (CW)  $\text{CO}_2$  激光和上海光源 (SSRF) 储存环中的 3.5 GeV 电子束，通过逆康普顿散射效应产生 MeV 能量的伽马光；由于储存环电子束能量的不可调，因此通过连续改变激光和电子束碰撞夹角的办法，实现

伽马光能量在 0.4~20 MeV 范围内连续可调；采用激光和电子束康普顿背散射模式产生高极化度的伽马束，能量在 20 MeV 左右，极化度可达到 90% 以上。SLEGS 产生的伽马光能量范围为 0.4~20 MeV，覆盖了核物理研究的核结构和光核反应巨共振以下能区 (keV 到 MeV)，

并且可连续或多能量调节，全谱积分的伽马光通量将达到  $10^5 \sim 10^7$  photons/s (分别对应  $20^\circ \sim 180^\circ$  碰撞角度)；利用准直技术，可获得能量分辨率好于 5%，同时伽马光斑可以实现  $\Phi 25$  mm 以内的连续束斑调节；伽马光的发散度好于 0.5 mrad。SLEGS 设计指标如表 2 所列。

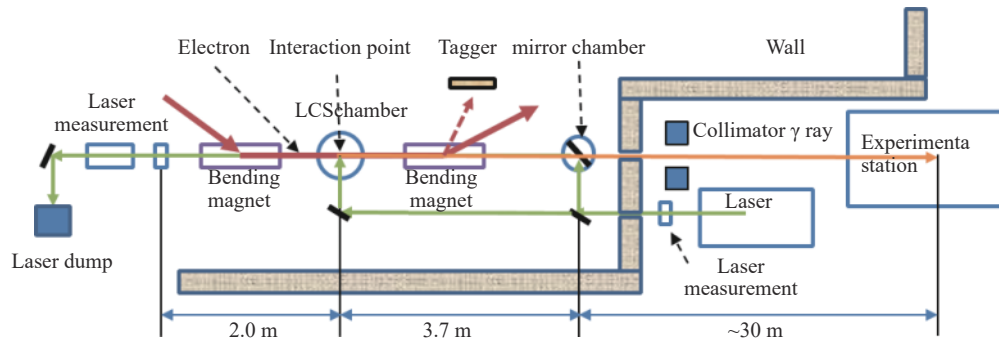


图 7 中国 SLEGS 装置布局示意图

表 2 SLEGS 线站设计指标

参数	设计指标
能量范围	0.4~20 MeV
单色性	~5% (加准直器)
积分伽马光通量	$10^5$ photons/s@ $20^\circ \sim 10^7$ photons/s@ $180^\circ$
发散度	<0.5 mrad

SLEGS 装置的科学目标为开展核物理、天体物理、极化物理等领域的光核反应基础研究，特别是解决核物理、核天体物理中具有重大科学价值的问题，如核结构参数、核集体激发模式、星系演化的重元素产生机制等；开展与航天、国防、核能等战略需求相关的应用基础研究，如航天伽马探测器的地面精确定标、核能关键光核截面、核废料伽马嬗变研究等。因此建成的 SLEGS 装置将成为上海光源二期线站中开展基础核物理与基础研究相结合的多功能实验平台。

SLEGS 研究重点包括：

(1) 宇宙大爆炸中重元素的产生机制研究，是 11 个物理学未解之谜之一。核天体物理中 s-process (慢速中子俘获)；r-process (快速中子俘获) 的逆反应过程研究； $(\gamma, n)$  光核反应截面的核数据测量等是中子测量的主要研究内容。伽马引起核反应的轻带电粒子测量是核天体物理中的一类重要反应，其中星体演化过程中的 He-Ne 循环过程关键反应截面及反应率测量，如  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ ， $^{14}\text{N}(\alpha, \gamma)^{18}\text{F}$ ， $^{18}\text{O}(\alpha, \gamma)^{22}\text{Ne}$ ， $^{20}\text{Ne}(\alpha, \gamma)^{24}\text{Mg}$  逆反应过程研究；s process, r process, p process 等关键核素的光核反应截面 (photo nuclear cross section)，以及核合成过程中的光致裂解反应。

(2) 共振及簇团结构的精确测量，是检验核多体理论和核力的天然实验室。核共振荧光 (Nuclear Resonance Fluorescence, NRF) 方法主要研究核的低能集体激发问题 (0~10 MeV)，例如 E1, M1, E2 激发模式等。

(3) 核能及核废料伽马嬗变研究，是国家可持续发展的战略需求。20 MeV 以下的康普顿散射光源可以进行核数据链的基础数据研究，以及反应堆核废料长寿命核素的嬗变研究等，康普顿散射光源在核废料中锕系元素的 GDR 能区具有更高的通量和嬗变效率。

(4) 极化伽马束研究反应产物的极化角分布，是基本对称性研究的一个重要工具。可以用来研究亚原子的能级特性，测定亚原子的自旋和宇称，检验各种对称性原理，研究强作用的自旋相关性，测定不稳定核的磁矩和电矩，研究反应机制等。

SLEGS 还可以开展伽马成像、空间探测器定标、器件抗辐射效应等应用研究。另外通过更改激光器的波长 (能量)，例如由  $10.64 \mu\text{m}$  更换为 1064, 532, 355, 266 nm，可实现更高伽马能量的选择 (例如 20~200 MeV 范围)，提供更高能量和高极化度的选择，满足不同用户的研究目标和实验需求。这一目标可以在未来 SLEGS 装置的研究及扩展中实现。

### 3 新一代激光康普顿散射伽马源展望及其物理研究

近些年，具有高亮度的 X 射线自由电子激光 XFEL (X-Ray Free Electron Laser) 装置在日本、美国和欧洲相继建成。XFEL 利用电子直线加速器产生的高品质电



子束通过磁极交替排列的波荡器来产生具备激光品质的高功率相干辐射 X 射线光源，除了宽广的光谱范围和超高亮度，同时也具备激光的相干性、短脉冲(飞秒)的优异特性，与典型的第三代同步辐射光源相比，XFEL 的峰值亮度高约 9 个量级，脉冲宽度短约 3 个量级，相干性提高 3 个量级。这些特点使得 XFEL 自诞生之日起就受到人们的青睐和重视，被认为是最有前途、最具科学探索和发现价值的未来新光源类型之一，它同时拥有激光和辐射光的双重特性，可工作于整个 X 射线波段，它在亮度、相干性和时间结构上都大大优于第三代同步辐射光源，被国际上公认为是第四代光源的可行技术路线之一。美国 LCLS<sup>[38]</sup>，欧洲 European XFEL<sup>[39]</sup>，日本 Spring-8 的 SACLA (the SPring-8 Angstrom Compact Free-Electron Laser)<sup>[40]</sup>，韩国浦项光源 PLS(Pohang Light Source)<sup>[41]</sup> 都相继发展了 XFEL 装置。

目前正在建设的上海软 X 射线自由电子激光试验装置 SXFEL(Soft X-ray FEL)<sup>[42]</sup>，2020 年将升级作为用户装置运行(参数如表 3 所列)，其直线电子加速器(LINAC)可以提供 0.84 和 1.3 GeV 的高能电子束，因此可以作为新的直线型康普顿散射装置设计的基础<sup>[43]</sup>，在此基础上设计建设类似欧洲 ELI-NP 装置的专用 LCS 光源，即 SXFEL-LCS，在伽马通量、能量范围等指标方面将达到目前国际装置的最好水平，和目前 LCS 装

置参数的比较参见图 8，覆盖 1.6~150 MeV 的能区范围，可以实现介子阈值以下能区的所有光核物理实验测量(伽马参数如表 4 所示)。

表 3 SXFEL 的主要参数

参数	试验装置参数	用户装置参数
电子能量/GeV	0.84	1.3
束团电荷/nC	0.5	0.5
归一化发射度/(mm-mrad)	<1.5	<1.5
脉冲长度(FWHM)/ps	<1	<1
重复频率/Hz	10	10

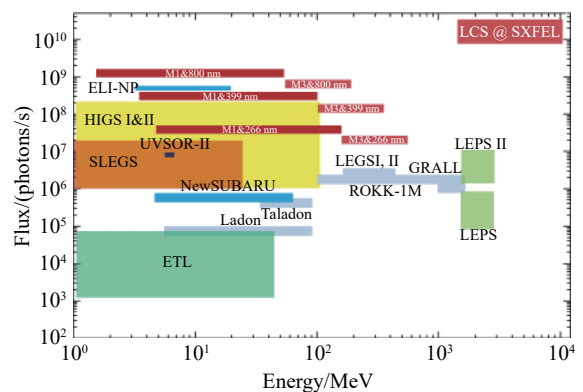


图 8 SXFEL-LCS 伽马源的预期通量、能区和国际上已建成 LCS 装置的比较

表 4 不同短脉冲激光波长和碰撞角度条件下的伽马能量及通量

激光				20°		160°		180°	
波长/ nm	宽度/ ps	频率/ Hz	单脉冲能量/ J	伽马能量/ MeV	伽马通量 (photons/s)	伽马能量/ MeV	伽马通量/ (photons/s)	伽马能量/ MeV	伽马通量/ (photons/s)
800	1.0	100	0.30	1.61	$3.37 \times 10^7$	50.10	$8.31 \times 10^8$	51.61	$1.58 \times 10^9$
399	1.0	100	0.15	3.22	$9.36 \times 10^6$	97.19	$2.06 \times 10^8$	100.01	$3.85 \times 10^8$
266	1.0	100	0.03	4.83	$1.56 \times 10^6$	141.21	$2.96 \times 10^7$	145.18	$4.96 \times 10^7$

2017 年 5 月，国家十三五重大科技基础设施—硬 X 射线自由电子激光装置获批建设(Shanghai High repetition rate XFEL aNd Extreme light facility-SHINE，包括一台 100PW 的超强超短激光装置)，由上海科技大学承建，中国科学院上海高等研究院(上海光源中心)共建，其 8GeV 的电子能量和超导电子直线加速器可以提供重复频率高达 MHz 的高品质、高流强电子束，同时在建的极端光物理设施的 100PW 超强超短光学激光器也可以达到  $10^{23-24}$  W/cm<sup>2</sup> 的高功率，基于直线加速器的分支线和多种类的短脉冲激光条件，例如普通激光、超短超强激光以及 X 射线自由电子激光，利用康普顿背散射原理可以获得 MeV 直至 GeV 的高能量、高通量和高极化度的伽马光源(如表 5 所列)，为未来的康普顿

散射光源的发展提供了前所未有的机遇和挑战。

基于直线电子加速器和超强激光装置，可以产生新一代的康普顿伽马光源，如 ELI-NP 装置上的伽马光源。在上海自由电子激光装置(SXFEL)上建设新支线做 GBS，增加新的实验终端，即可以实现类似 ELI-NP 的基于直线加速器的设计方案。新一代康普顿散射光源基于超强激光技术、自由电子激光 FEL 技术、康普顿背散射(BCS)技术，能够提供强激光、伽马光、自由电子激光、韧致辐射伽马射线、白光中子源、电子及正电子源、激光加速带电粒子等 8 种射线装置的综合研究平台(如图 9 所示)，可以实现超强激光( $\sim$ eV,  $> 100$ TW)、X 射线自由电子激光( $\sim$ keV)、伽马射线( $\sim$ MeV)的光子连续波段研究，以及韧致辐射伽马射线、白光中子、正

电子的辐照研究等。在强激光驱动的核物理研究；偶极巨共振 GDR、核共振荧光 NRF 及其应用研究；光核反应利用及其应用研究；正电子产生及应用研究；伽马束

在医学成像及工业中的应用；伽马束在核废料嬗变及核能中的应用；伽马光子学研究等新物理的研究中必将发挥重要的作用。

表 5 不同激光波长在与 SHINE 电子束在康普顿背散射条件下的伽马能量及通量

激光波长	激光类型	功率/W	脉冲宽度	脉冲频率	单脉冲能量/J	伽马能量/MeV	伽马通量/(photons/s/W)
10.64 μm	CW	1				112.7	$7.59 \times 10^6$
1.64 μm	CW	1				999.8	$9.49 \times 10^5$
800 nm	Pulse		50 fs	10 Hz	5	1 277.4	$1.04 \times 10^{10}$
355 nm	CW	1				2 397.8	$2.75 \times 10^5$
266 nm	CW	1				2 908.0	$1.79 \times 10^5$
0.1 keV@FEL	FEL		0.7 ps	1 MHz		7 398.6	$1.04 \times 10^8$
1.0 keV@FEL	FEL		0.7 ps	1 MHz		7 937.8	$1.97 \times 10^7$

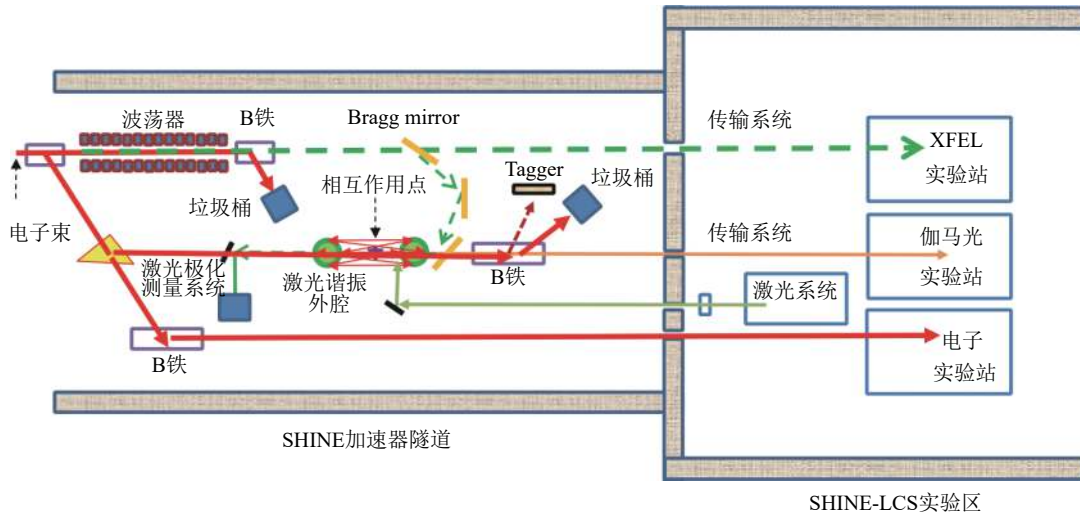


图 9 未来高能康普顿散射伽马光源布局示意图

#### 4 总结与展望

上海激光电子伽马源 (SLEGS) 作为国内第一台在建的逆康普顿散射伽马射线实验线站，采用了独特的斜入射碰撞模式和背散射碰撞模式，在不改变储存环电子束能量的前提下，基于 100 W CO<sub>2</sub> 激光器可以提供 0.4~20 MeV 的伽马光子束流，积分流强在 10<sup>5-7</sup> photons/s 之间，SLEGS 线站预期将于 2022 年建成并向用户开放。同时，随着上海光源中心的软 X 射线自由电子激光用户装置 (SXFEL) 即将投入运行和上海科技大学的硬 X 射线自由电子激光装置 (SHINE) 的建设，未来基于自由电子激光直线电子加速器 (LINAC) 的康普顿散射伽马源方案设计也逐渐成熟，参考欧洲 ELI-NP GBS 和 XFEL<sup>[44]</sup> 类似的设计，可以提供更高能量、高流强、短脉冲、高极化的伽马光子束流 (如图 10 所示)，为光核物理研究、强激光核物理和自由电子激光核物理的研究提供更加先进的光子束流和实验终端，推动我国光核

物理基础研究走向新的发展阶段。

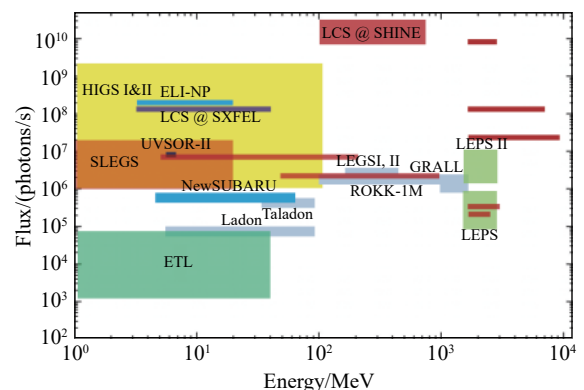


图 10 未来高能康普顿散射伽马光源的通量和能区分布的比较

**致谢** 感谢沈文庆院士提出上海康普顿散射伽马源装置方案的开创性工作，感谢沈文庆院士、马余刚院士对 SLEGS 线站设计和未来物理研究的指导和引领，感谢

张桂林研究员的技术指导。

### 参考文献:

- [1] HAJIMA R. *Physics Procedia*, 2016, 84: 35.
- [2] HAJIMA R, FUJIWARA M. *Phys Rev Accel beams*, 2016, 19: 020702.
- [3] GE Y C. *Acta Physica Sinica*, 2009, 58(5): 3094. (in Chinese) (葛榆成. *物理学报*, 2009, 58(5): 3094.)
- [4] FEENBERG E, PRIMAKO H. *Phys Rev*, 1948, 73: 4491948.
- [5] MILBURN R H. *Phys Rev Lett*, 1963, 10: 75.
- [6] ARUTYUNYAN F R, TUMANYAN V A. *Phys Lett*, 1963, 4: 176.
- [7] FIOCO G, THOMPSON E. *Phys Rev Lett*, 1963, 10: 89.
- [8] BEMPORAD C, MIBURN R. H, TANAKA N, et al. *Phys Rev B*, 1965, 138: 1546.
- [9] MATONE G, PICOZZA P, PROSPERI D, et al. *Lecture Notes in Physics*, 1977, 62: 149.
- [10] ENGLERT T J, RINEHART E A. *Phys Rev A*, 1983, 28: 1539.
- [11] JIM K, CHATTOPADHYAY S, SHANK C V. *Nucl Instr and Meth A*, 1994, 341: 351.
- [12] SCHOENLEIN R W, LEEMANS W P, CHIN A H, et al. *Science*, 1996, 274: 236.
- [13] SANDORFI A M, LEVINE M J, THORN C E, et al. *IEEE T Nucl Sci*, 1984, 30: 3083.
- [14] OHGAKI H, TOYOKAWA H, KUDO K, et al. *Nucl Instr and Meth A*, 2000, 455: 54.
- [15] NAKANO T, EJIRIA H, FUJIWARA M, et al. *Nucl Phys A*, 1998, 629: 559c.
- [16] KEZERASHVILI G Y, MILOV A M, MUCHNOI N Y, et al. *Nucl Instr and Meth B*, 1998, 145: 40.
- [17] GIBSON D J, ANDERSON S G, BARTY C P J, et al. *Phys Plasmas*, 2004, 11: 2857.
- [18] WELLER H R AND AHMED M W. *Mod Phys Lett A*, 2003, 18: 1569.
- [19] AMANO S, HORIKAWA K, ISHIHARA K, et al. *Nucl Instr and Meth A*, 2009, 602: 337.
- [20] GIBSON D J, ALBERT F, ANDERSON S G, et al. *Phys Rev ST Accel Beams*, 2010, 13: 070703.
- [21] ALBERT F, ANDERSON S G, GIBSON D J, et al. *Phys Rev ST Accel Beams*, 2011, 14: 050703.
- [22] CAI X Z, GU J H, GUO W, et al. *Progress in Physics*, 2003, 23: 389. (in Chinese) (蔡翔舟, 顾嘉辉, 郭威, 等. *物理学进展*, 2003, 23: 389.)
- [23] ZHANG S C, DIAO C Z, HE D H, et al. *High Power Laser and Particle Beams*, 2000, 12(3): 281. (in Chinese) (张善才, 刁操政, 何多慧, 等. *强激光与粒子束*, 2000, 12(3): 281.)
- [24] ZHUANG J J, ZHAO Y. *High Energy Physics and Nuclear Physics*, 2000, 24(9): 870. (in Chinese) (庄杰佳, 赵宇. *高能物理与核物理*, 2000, 24(9): 870.)
- [25] LI Z H, HU K S, QIAN M Q. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, 13(4): 423. (in Chinese) (李正红, 胡克松, 钱民权. *强激光与粒子束*, 2001, 13(4): 423.)
- [26] CHEN J G, XU W, GUO W, et al. *Nucl Instr and Meth A*, 2007, 580: 1184.
- [27] DU Y C, HUANG W H, YAN L X, et al. *High Power Laser and Particle Beams*, 2009, 21(2): 265. (in Chinese) (杜应超, 黄文会, 颜立新, 等. *强激光与粒子束*, 2009, 21(2): 265.)
- [28] AN G P, CHI Y L, DANG Y L, et al. *Matter and Radiation at Extremes*, 2018, 3: 219.
- [29] HABS D, TAJIMA T, ZAMFIR V. *Nuclear Physics News*, 2011, 21: 23.
- [30] TAIN J L, LALLENA A M, EBRAHIM M, et al. Proposal for the Construction of a Gamma-Ray Beam Line at the Spanish Synchrotron ALBA, December, 2004.
- [31] WURTZ W A. Considerations for the Construction of a Gamma ray Beam Line at the Canadian Light Source. Canadian Light Source, Apr. 22, 2010.
- [32] AHNA J K, KIM E S. *Nucl Instr and Meth A*, 2004, 528: 600.
- [33] LEPS2, [http://www.spring8.or.jp/pdf/en/res\\_fro/11/138-139.pdf](http://www.spring8.or.jp/pdf/en/res_fro/11/138-139.pdf).
- [34] NewSUBARU, <http://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/> [http://www.spring8.or.jp/en/about\\_us/whats\\_sp8/facilities/accelerators/new\\_subaru/](http://www.spring8.or.jp/en/about_us/whats_sp8/facilities/accelerators/new_subaru/).
- [35] HIGGS, <http://www.tunl.duke.edu/web.tunl.2011a.higgs.php>.
- [36] ELI-NP, <http://www.eli-np.ro/>, <http://www.eli-np.ro/documents/ELI-NP-WhiteBook.pdf>
- [37] GUO W, XU W, CHEN J G, et al. *Nucl Instr and Meth A*, 2007, 578: 457.
- [38] LCLS & LCLS2, [https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls\\_public/Pages/Default.aspx](https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/Pages/Default.aspx).
- [39] European XFEL, <http://www.xfel.eu/>.
- [40] SACLA <http://www.riken.jp/en/research/environment/sacla/>.
- [41] PAL-XFEL, <http://pal.postech.ac.kr/paleng/>.
- [42] ZHAO Z T, CHEN S Y, YU L H, et al. THPC053: Shanghai Soft X ray Free Electron Laser Test Facility[C]// Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, Spain, 2011: 3011.
- [43] WU H L, CHEN J H, LIU B. *Nuclear Science and Techniques*, 2015, 26: 050103.
- [44] HAJIMA R, MAMORU F. *Physical Review Accelerators and Beams*, 2016, 19: 020702.

## Development and Prospect of Shanghai Laser Compton Scattering Gamma Source

WANG Hongwei<sup>1,2,3,1)</sup>, FAN Gongtao<sup>1,2</sup>, LIU Longxiang<sup>1,2</sup>, CAO Xiguang<sup>1,2,3</sup>, LI Wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Yue<sup>2,3</sup>,  
HU Xinrong<sup>2,3</sup>, LI Xinxiang<sup>2,3</sup>, WANG Junwen<sup>2,3,4</sup>, LU Tongshuo<sup>2,5</sup>, HUANG Bosong<sup>2</sup>,  
HAO Zirui<sup>2,3</sup>, KUANG Pan<sup>2,3</sup>, HUANG Yuhua<sup>5</sup>

(1. *Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;*

2. *Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 201800, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

4. *ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China;*

5. *Tibet University, Lasa 850000, China)*

**Abstract:** Laser Compton Scattering-LCS source is a new type X-ray or Gamma-ray light source based on the interaction of the relativistic electron beam with the laser photon. It has the characteristics of high energy, short wave length, fast pulse and high peak brightness, and has become one of the important options of advanced light source technology in the world. This paper introduces the production principle of laser Compton scattering light source, the historical development in China and international laboratory, and the laser Compton scattering light source facility currently running and under construction internationally. The Shanghai Laser Electron Gamma source(SLEGS) is under construction in Shanghai Light Source PHASE II project, the research on nuclear physics, nuclear astrophysics, nuclear waste disposal and nuclear medicine applications that can be carried out on this gamma source. With the upgrade of the Soft X-ray Free Electron Laser(SXFEL) to a user facility, and the Shanghai High repetition rate XFEL and Extreme light facility(SHINE)- Large-scale scientific facility of the 13th Five-Year Plan will be completed in the future. The gamma energy of the Compton scattering source in LINear ACcelerator (LINAC) will reach the GeV energy. Ultra-short pulse, high polarization, high-flux laser Compton scattering light source will usher in new development opportunities. The study of nuclear physics, astrophysics, particle physics and applied basic research based on Compton Gamma source will also reach a new level.

**Key words:** Laser Compton scattering; Gamma source; Shanghai laser electron gamma source; photo-nuclear physics

---

**Received date:** 02 Aug. 2019; **Revised date:** 06 Dec. 2019

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (11875311); Shanghai Synchrotron Radiation Facility(SSRF) Phase II project (1173SRCZ01)

1) E-mail: [wanghongwei@zjlab.org.cn](mailto:wanghongwei@zjlab.org.cn).