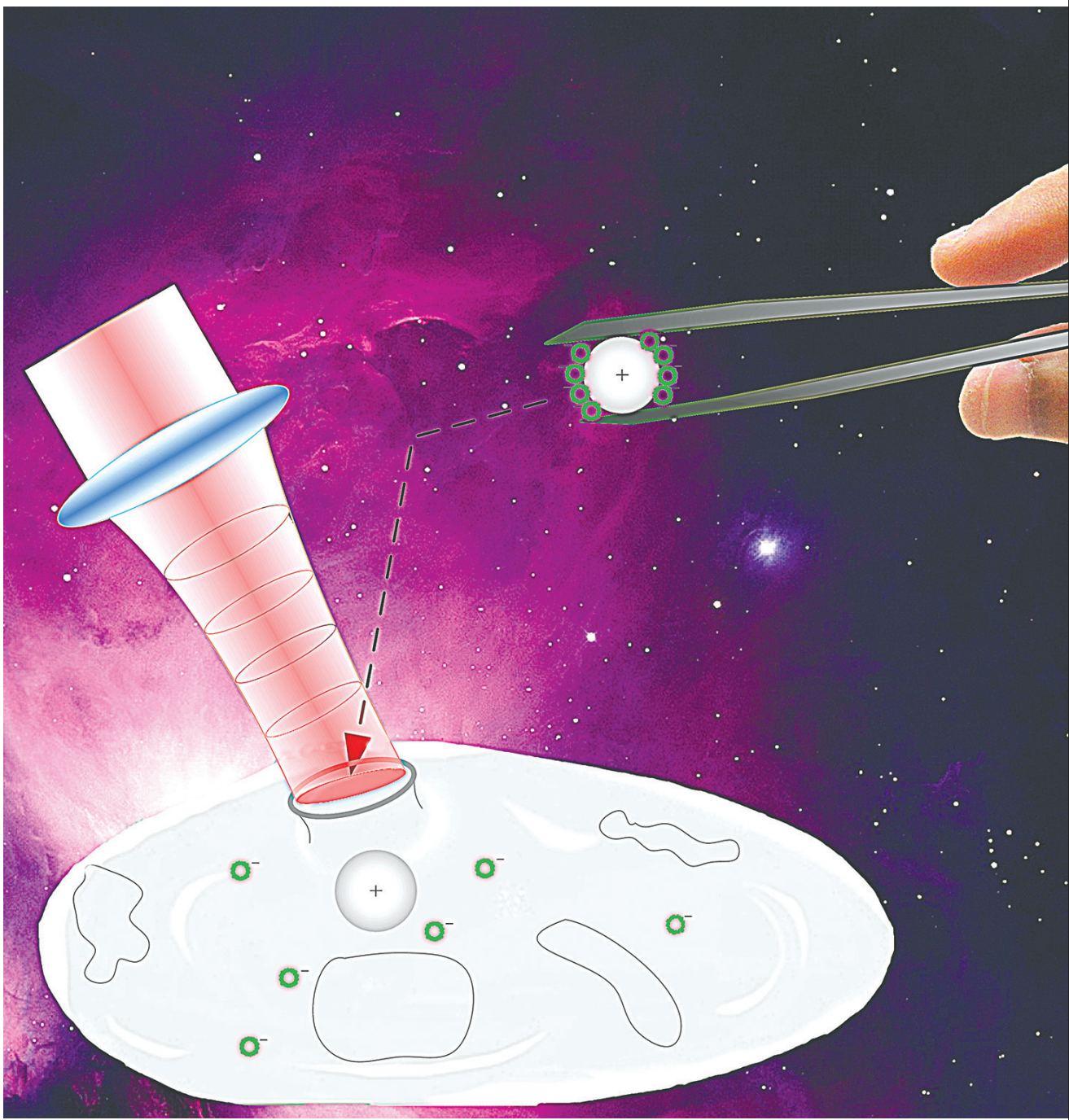
মূল রচনা

পদার্থবিদ্যায় নোবেল ২০১৮

লেজারের নোবেল জয়

মুহম্মদ আনিসুজ্জামান তালুকদার

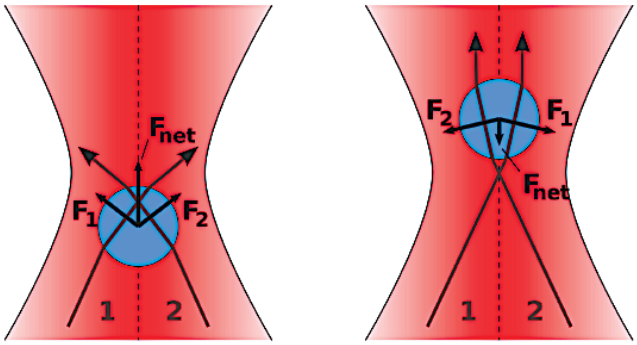


লেজার প্রযুক্তি বদলে দিয়েছে মানুষের দৈনন্দিন জীবন। আমাদের চারপাশের জগতে এখন লেজারের জয়জয়কার। তবে মোটা দাগে লেজার সবচেয়ে বেশি প্রভাব বিস্তার করেছে চিকিৎসাক্ষেত্রে। লেজার প্রযুক্তি হয়ে উঠেছে মানুষের জীবনরক্ষার অন্যতম হাতিয়ার। এ প্রযুক্তি নিয়ে গবেষণার জন্যই ২০১৮ সালে নোবেল পেয়েছেন তিন বিজ্ঞানী

২ অক্টোবর ২০১৮। সুইডিশ রয়্যাল একাডেমি অব সায়েন্সেস পদার্থবিদ্যায় নোবেল বিজয়ীদের নাম ঘোষণা করে। তিন বিজয়ী হলেন যুক্তরাষ্ট্রের বেল ল্যাবরেটরির আর্থার অ্যাশকিন, ফ্রান্সের ইকোল পলিটেকনিক ইউনিভার্সিটির জেরার্ড মরো এবং কানাডার ওয়াটারলু ইউনিভার্সিটির ডোনা স্ট্রিকল্যান্ড। লেজার ফিজিকসে যুগান্তকারী উদ্ভাবনের জন্য তাঁরা এ বছর নোবেল পেলেন। অ্যাশকিন অপটিক্যাল টোয়েজার এবং জৈবিক সিস্টেমে তার ব্যবহার কীভাবে করা যায়, তা নিয়ে কাজ করেন। মরো ও স্ট্রিকল্যান্ড যৌথভাবে পুরস্কৃত হয়েছেন উচ্চশক্তির অতিসংক্ষিপ্ত অপটিক্যাল পালস তৈরির পদ্ধতি উদ্ভাবন করে। এই উদ্ভাবনগুলো লেজার ফিজিকসে বৈপ্লবিক পরিবর্তন এনেছে। সম্ভব করেছে অত্যন্ত দ্রুতগতির ঘটনা কিংবা অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে নিয়ন্ত্রণ, পর্যবেক্ষণ ও নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা। প্রায় ১ মিলিয়ন ডলার পুরস্কারের অর্ধেক পাবেন ড. অ্যাশকিন এবং বাকি অর্ধেক অর্থ সমানভাগে পাবেন মরো ও স্ট্রিকল্যান্ড। স্ট্রিকল্যান্ড ইতিহাসের তৃতীয় এবং গত ৫৫ বছরের প্রথম নারী হিসেবে ২০১৮ সালে পদার্থবিদ্যায় নোবেল পেলেন।

আর্থার অ্যাশকিনের উদ্ভাবিত অপটিক্যাল টোয়েজারে লেজার রশ্মির মাধ্যমে কোনো বস্তুকণা, পরমাণু, ভাইরাস বা জীবন্ত অরগানিজমকে আটকে ফেলা এবং তার গতিবিধি একটি ত্রিমাত্রিক (থ্রি-ডাইমেনশনাল) জায়গায় নিয়ন্ত্রণ বা পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব। অ্যাশকিনের অপটিক্যাল টোয়েজার উদ্ভাবনের সঙ্গে সায়েন্স ফিকশন গল্পের সেই পুরোনো রঙিন কল্পনা—আলোকরশ্মির বিকিরণ চাপকে ব্যবহার করে বস্তু স্থানান্তর করা—বাস্তব রূপ পায়। ১৯৮৭ সালে অপটিক্যাল টোয়েজারের উন্নয়নে একটি বড় সাফল্য অর্জিত হয়। তখন অ্যাশকিন টোয়েজার ব্যবহার করে জীবন্ত ব্যাকটেরিয়াকে কোনো ক্ষতি না করে লেজার রশ্মির মাধ্যমে নিয়ন্ত্রণ করতে সক্ষম হন। এরপর দ্রুতই অ্যাশকিন বিভিন্ন জৈবিক সিস্টেম পরীক্ষা-নিরীক্ষা করতে টোয়েজারের ব্যবহার শুরু করেন। বর্তমানে অপটিক্যাল টোয়েজার ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে জীবনের চালিকাশক্তির রহস্য উদ্‌ঘাটনে।

অপটিক্যাল টোয়েজারে স্থানভেদে আলোকরশ্মির শক্তির মানের তারতম্যের ওপর নির্ভর করে মাইক্রন আকারের বস্তুকণার ওপর অনুভবযোগ্য বল (force) প্রয়োগ করা হয়। এ ধরনের ফোর্সের অস্তিত্ব প্রথম আবিষ্কার করেন আর্থার অ্যাশকিন ১৯৭০ সালে। তখন তিনি বেল ল্যাবরেটরিতে একজন বিজ্ঞানী হিসেবে কর্মরত ছিলেন। এই ধারণার ওপর নির্ভর করেই পরে অ্যাশকিন ও তাঁর সহযোগীরা অপটিক্যাল টোয়েজার উদ্ভাবন করেন। অপটিক্যাল টোয়েজার ন্যানোমিটার এবং মাইক্রোমিটার আকারের বস্তুকণাকে অতিকেন্দ্রীভূত লেজার রশ্মির মাধ্যমে অতি ক্ষুদ্র ফোর্স (পিকো নিউটন মাত্রার) প্রয়োগ করে তিনটি মাত্রাতেই নিয়ন্ত্রণ করতে সক্ষম। এ ক্ষেত্রে একটি মাইক্রোস্কোপ অবজেকটিভ ব্যবহার করে লেজার রশ্মি কেন্দ্রীভূত করা হয়। ফলে কেন্দ্রে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের (Electric Field) গ্র্যাডিয়েন্ট অতি উচ্চ মানের হয়। বস্তুকণাগুলো গ্র্যাডিয়েন্ট বরাবর সবচেয়ে তীব্র ইলেকট্রিক ফিল্ডের দিকে আকৃষ্ট হয়। এটাই প্রকৃতপক্ষে কেন্দ্রীভূত লেজার রশ্মির কেন্দ্রবিন্দু। তবে লেজার রশ্মি বস্তুকণার ওপর প্রবাহের দিক বরাবর অন্য আর একটি ফোর্স প্রয়োগ করে, যা বস্তুকণাকে কেন্দ্র থেকে বিচ্যুত করে দিতে চায়। যেহেতু লেজার রশ্মির ফোটনগুলো বস্তুকণা দ্বারা স্ক্যাটার্ড হয় তাদের ভরবেগের পরিবর্তন ঘটে এবং ভরবেগের নিত্যতার প্রয়োজনে বস্তুকণার ভরবেগেরও পরিবর্তন ঘটে। ফলে বস্তুকণা লেজার রশ্মির প্রবাহের দিকে কিছুটা সরে যায়।

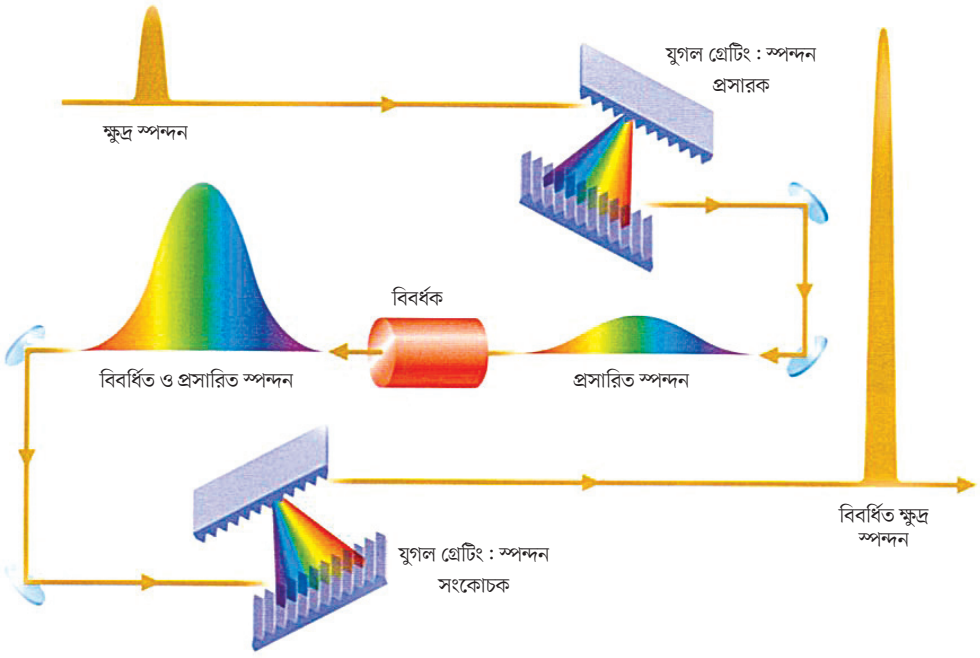


ছবি ১ : কেন্দ্রীভূত লেজার রশ্মি একটি বস্তুকণাকে আটকে রাখে একটি নির্দিষ্ট অক্ষ অবস্থানে। কেন্দ্র থেকে বিচ্যুত বস্তুকণা কেন্দ্র থেকে সামনে (বাঁয়ের ছবি) অথবা পেছনে (ডানের ছবি) থাকায় ভরবেগ পরিবর্তনের জন্য কেন্দ্র অভিমুখে একটি ফোর্স অনুভব করে

একটি স্থিতিশীল ট্র্যাপ তৈরি করতে অপটিক্যাল টোয়েজারে সাধারণত গাউসিয়ান প্রোফাইলের লেজার রশ্মি ব্যবহার করা হয়। গাউসিয়ান প্রোফাইলে আলোর উজ্জ্বলতা কেন্দ্রে বেশি থাকে এবং কেন্দ্র থেকে দূরে উজ্জ্বলতা কমতে থাকে। ফলে আলোকরশ্মির বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের তীব্র গ্র্যাডিয়েন্ট তৈরি হয়। যখন লেজার রশ্মি বস্তুকণার ওপর পতিত হয়, প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের কারণে রশ্মির দিক এবং একই সঙ্গে ভরবেগের পরিবর্তন হয় (ছবি ১ দেখুন)। সামগ্রিকভাবে আলোকরশ্মির প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের কারণে যে ফোর্সগুলো বস্তুকণার ওপর ক্রিয়াশীল হয় তাদের দুই ভাগে ভাগ করা যায়। ১. স্ক্যাটারিং ফোর্স, এটা আলোকরশ্মির প্রবাহের দিকে কাজ করে। ২. গ্র্যাডিয়েন্ট ফোর্স, এটা তৈরি হয় গাউসিয়ান প্রোফাইলে ইলেকট্রিক ফিল্ডের গ্র্যাডিয়েন্টের জন্য। গ্র্যাডিয়েন্ট ফোর্স হচ্ছে রিস্টোরিং (Restoring) ফোর্স, যা বস্তুকণাকে কেন্দ্রের দিকে টেনে রাখে। যদি প্রতিসারিত রশ্মির কারণে তৈরি স্ক্যাটারিং ফোর্স প্রতিফলিত রশ্মির কারণে তৈরি স্ক্যাটারিং ফোর্সের চেয়ে বড় হয়, তাহলে আলোকরশ্মির বিপরীত দিকেও একটি রিস্টোরিং ফোর্স কাজ করে। ফলে একটি স্থিতিশীল ট্র্যাপ তৈরি হয়।

যখন বস্তুকণা ট্র্যাপের কেন্দ্র থেকে বিচ্যুত হয়, অপটিক্যাল ট্র্যাপের রিস্টোরিং ফোর্স একটি অপটিক্যাল স্প্রিংয়ের মতো কাজ করে এবং রিস্টোরিং ফোর্সের মান কেন্দ্র থেকে বিচ্যুত বস্তুকণার দূরত্বের সমানুপাতিক হয়। বাস্তবিকভাবে বস্তুকণা সব সময় ব্রাউনিয়ান গতিতে অবস্থান পরিবর্তন করে। এটা তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। তবে যখনই বস্তুকণা কেন্দ্র থেকে দূরে সরে যায়, রিস্টোরিং ফোর্স তাকে পুনরায় কেন্দ্রে টেনে আনে।

অপটিক্যাল ট্র্যাপ অত্যন্ত সংবেদনশীল। সে জন্য অপটিক্যাল টোয়েজার দিয়ে সাব-মাইক্রন আকারের বস্তুকণাকে নিয়ন্ত্রণ এবং তাদের সাব-ন্যানোমিটার পরিমাণ অবস্থান পরিবর্তন পরিমাপ করা যায়। এ জন্য অপটিক্যাল ট্র্যাপ ব্যবহার করে একক অণু পর্যায়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা যায়। এ জন্য অবশ্য অণুর সঙ্গে একটি ডাই-ইলেকট্রিক বস্তুকণা সংযুক্ত করতে হবে। এ কারণেই বর্তমানে ডিএনএ,



চিত্র ২ : চার্পড পালস অ্যামপ্লিফিকেশন পদ্ধতি

আর্থার অ্যাশকিন, জেরার্ড মরো এবং ডোনা স্ট্রিকল্যান্ড

তাঁদের উদ্ভাবিত পন্থায় লেজার গেইন মিডিয়াম বা অন্য কোনো কম্পোনেন্টের ক্ষতি ছাড়াই পালসের শক্তি বহুগুণ বাড়িয়ে দেওয়া সম্ভব। এ প্রক্রিয়ায় তুলনামূলক কম শক্তির সংক্ষিপ্ত সময়ের পালসকে প্রসারিত করে পালসের শীর্ষ শক্তি কমিয়ে নেওয়া হয়

প্রোটিন, এনজাইম ইত্যাদির পরীক্ষা-নিরীক্ষায় অপটিক্যাল টোয়েজার ব্যবহার করা হয়।

জেরার্ড মরো ও ডোনা স্ট্রিকল্যান্ড উদ্ভাবণ করেছেন সবচেয়ে সংক্ষিপ্ত এবং সবচেয়ে শক্তিশালী লেজার পালস তৈরির পথ। ১৯৬০-এর দশকের শুরুতে লেজার উদ্ভব হয়। এরপর থেকেই লেজারের শক্তি বাড়ানোটাই ছিল আকর্ষণীয় এবং অত্যন্ত চ্যালেঞ্জিং সমস্যা। এ সমস্যা সমাধান করা হয় লেজার পালসের সময়ব্যাপ্তি সংক্ষিপ্ত করে, যাতে লেজার রশ্মির সব শক্তি খুব সংক্ষিপ্ত সময়ে কেন্দ্রীভূত থাকে। কিউ-সুইচিং এবং মোড়-লকিং প্রক্রিয়ার মাধ্যমে লেজার পালসকে অত্যন্ত সংক্ষিপ্ত সময়ে (পিকোসেকেন্ড এমনকি সাব-পিকোসেকেন্ড সময়ে) সীমাবদ্ধ করা যায়। সঙ্গে সঙ্গে পালসের সর্বোচ্চ শক্তি মেগাওয়াট এমনকি গিগাওয়াট রেঞ্জে নিয়ে যাওয়া সম্ভব। কিন্তু নিরাপদ এবং সফলভাবে পালসের শক্তি অ্যামপ্লিফাই করা সীমিত হয়ে পড়ে উচ্চশক্তির আলোকরশ্মির প্রভাবে বিভিন্ন নন-লিনিয়ার এফেক্টস ক্রিয়াশীল হওয়ায়। বিশেষ করে, পালসের শক্তিবৃদ্ধির সঙ্গে সেলফ-ফোকাসিংয়ের মাধ্যমে আলোকরশ্মি গেইন মিডিয়ামের দৈর্ঘ্যিক অক্ষ (Longitudinal axis) বরাবর কেন্দ্রীভূত হয়। ফলে গেইন মিডিয়ামের অংশবিশেষে আলোকরশ্মির শক্তি প্রতি সেন্টিমিটারে গিগাওয়াট বা আরও অনেক বেশি হতে পারে। ফলে লেজার গেইন মিডিয়ামে এবং লেজার সিস্টেমের অন্য কিছু কম্পোনেন্টে অপূরণীয় ক্ষতি হয়।

১৯৮০-এর দশকে যুক্তরাষ্ট্রের রচেস্টার বিশ্ববিদ্যালয়ের ল্যাবরেটরি ফর লেজার এনারজেটিকসে কর্মরত জেষ্ঠ্য বিজ্ঞানী জেরার্ড মরো এবং পিএইচডি শিক্ষার্থী ডোনা স্ট্রিকল্যান্ড পালসের শক্তিবৃদ্ধির সীমাবদ্ধতা অতিক্রমের এক অভিনব পন্থা উদ্ভাবন করেন। তাঁদের উদ্ভাবিত পন্থায় লেজার গেইন মিডিয়াম বা অন্য কোনো কম্পোনেন্টের ক্ষতি ছাড়াই পালসের শক্তি বহুগুণ বাড়িয়ে দেওয়া সম্ভব। এ প্রক্রিয়ায় তুলনামূলক কম শক্তির সংক্ষিপ্ত সময়ের পালসকে প্রসারিত করে পালসের শীর্ষ শক্তি কমিয়ে নেওয়া হয়। এরপর কম শক্তির পালস গেইন মিডিয়ামে প্রবেশ করিয়ে অ্যামপ্লিফাই করে আবার সংকুচিত করা হয়। এভাবে প্রাপ্ত পালসের শীর্ষ শক্তি টেরাওয়াট ($১০^{১২}$ ওয়াট) এমনকি পেটাওয়াট ($১০^{১৫}$ ওয়াট) পর্যন্ত হতে পারে। জেরার্ড মরো ও ডোনা স্ট্রিকল্যান্ডের উদ্ভাবিত এই অভিনব পদ্ধতি সায়েন্টিফিক জগতে চার্পড পালস অ্যামপ্লিফিকেশন (Cirped Pulse Amplification বা সংক্ষেপে CPA) নামে পরিচিত। সিপিএ পদ্ধতির বিভিন্ন ধাপ ছবি ২-এ দেখানো হয়েছে।

সিপিএ প্রক্রিয়া লেজার পালসের শক্তি অতি উচ্চমানে উন্নীত করার সবচেয়ে কার্যকর পদ্ধতি এবং বর্তমান বিশ্বের প্রায় সব অতি উচ্চশক্তির লেজারগুলোতেই এই পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। CPA-এর প্রয়োগে অতি উচ্চশক্তির লেজার সিস্টেমের কিছু উল্লেখযোগ্য উদাহরণ হচ্ছে রাদারফোর্ড অ্যাপলটন ল্যাবরেটরির কেন্দ্রীয় লেজার সিস্টেম ভালকান পেটাওয়াট লেজার, ওসাকা ইউনিভার্সিটির ইনস্টিটিউট ফর লেজার ইঞ্জিনিয়ারিংয়ের গেকা পেটাওয়াট লেজার, রচেস্টার ইউনিভার্সিটির ল্যাব ফর লেজার এনারজেটিকসের ওমেগা ইপি লেজার। গবেষণাগারের বাইরে CPA পদ্ধতিতে সৃষ্ট লেজার পালসের অন্যতম ব্যবহার হচ্ছে ল্যাসিক আই সার্জারি, ক্যানসার চিকিৎসা এবং স্মার্টফোনের কাভার গ্লাস তৈরিতে।

সিপিএ পদ্ধতিতে অতিসংক্ষিপ্ত সময়ের লেজার পালস গেইন মিডিয়ামে প্রবেশের আগে প্রসারিত করার জন্য ব্যবহার করা হয় এক জোড়া গ্রেটিং। ফলে প্রতিফলিত হয়ে ছোট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলো বড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলোর তুলনায় অল্প দূরত্ব অতিক্রম করে (ছবি ২ দেখুন)। এর ফলে গ্রেটিং জোড়া অতিক্রম করার সময় বড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলো ছোট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলোর তুলনায় সময়ে পিছিয়ে পড়ে এবং লেজার পালসটির দৈর্ঘ্য ১০০০ থেকে ১০০০০০ গুণ পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়। এ ধরনের প্রসারিত পালসকে পজিটিভলি চার্পড বলে। যেহেতু লেজার পালসটি সময়ে প্রসারিত, গেইন মিডিয়ামের ভেতর পালসটির শক্তি যেকোনো সময়ে প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে একই পরিমাণে হ্রাস পায়। এরপর কম শক্তির প্রসারিত লেজার পালসটি গেইন মিডিয়ামে প্রবেশ করানো হলে নন-লিনিয়ার এফেক্টস ক্রিয়াশীল হয় না। তাই গেইন মিডিয়াম বা অন্যান্য কম্পোনেন্টের ক্ষতির সম্ভাবনা থাকে না। বরং গেইন মিডিয়াম পালসের শক্তি বহুগুণ (১০০০০০০ গুণ পর্যন্ত) বিবর্ধিত করে। পরিশেষে উচ্চশক্তির প্রসারিত পালসকে পুনরায় সংকুচিত করা হয় প্রসারণের বিপরীত প্রক্রিয়ায় এক জোড়া গ্রেটিংয়ের ভেতর দিয়ে পরিচালিত করে। যেখানে বড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলো ছোট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনগুলোর তুলনায় অল্প দূরত্ব অতিক্রম করে। এভাবে সংকুচিত স্বল্প দৈর্ঘ্যের পালসটির শক্তি বহুগুণ পর্যন্ত বৃদ্ধি পেতে পারে, সেটা সাধারণভাবে সিপিএ পদ্ধতি ছাড়া সম্ভব নয়। সিপিএ পদ্ধতিতে শুধু পালসের শক্তি বহুগুণ বৃদ্ধিই নয়, লেজার সিস্টেমের আকারও অনেক ছোট করে আনা সম্ভব হয়েছে। একটি টেরাওয়াট শক্তির লেজার সিস্টেম সাধারণ একটি টেবিলের ওপর স্থাপন করা সম্ভব।

লেখক : অধ্যাপক, তড়িৎ ও ইলেকট্রনিক কৌশল বিভাগ, বাংলাদেশ প্রকৌশল বিশ্ববিদ্যালয়