

## সৌর শক্তির আলোক রাসায়নিক রূপান্তর

পর্ব-২

ভিনসেন্সো বালজানি, আলবার্টো ক্রেডি এবং মার্গেরিটা ভেঞ্চুরি  
রসায়ন বিভাগ, ইউনিভার্সিটি অব বলগ্না, ভায়া সেল্‌মি ২, ৪০১২৬ বলগ্না, ইটালী  
(*ChemSusChem* 2008, 1(1-2), 26)

(ইটালীর ইউনিভার্সিটি অব বলগ্নার রসায়ন বিভাগের প্রাক্ষাত অ্যামিরিটাস অধ্যাপক জিয়াকোমো  
সিয়ামিসিয়ান এর ১৫০তম জন্মবার্ষিকীতে তাঁর স্মৃতির উদ্দেশ্যে নিবেদিত)

ভাবানুবাদ  
কেশব কুমার অধিকারী

**অবতরণিকা:** একবিংশ শতাব্দির সবচেয়ে বড় চ্যালেঞ্জ হলো নবায়ন যোগ্য শক্তির উৎসের অনুসন্ধান<sup>১</sup>। পাশ্চাত্যের ধনী দেশ গুলোকে এক অমিত সুযোগ এবং বিশ্বয়কর সম্ভাবনার দ্বার উন্মুক্ত করে দিয়েছিলো জীবাশ্ম জ্বালানী গত বিংশ শতক জুড়ে। কিন্তু হতাশার বিষয় হলো, সেই নবায়ন অযোগ্য শক্তি রসদের ভান্ডার ক্রমশঃ অপসূয়মান<sup>২,৩</sup> বর্তমানে। শুধু তাই নয়, আজ অনেক অনেক কাল পরে এসে মানব জাতি বিশ্বয়কর ভাবেই উপলব্ধি করতে পেড়েছে যে, এই জীবাশ্ম জ্বালানীর ক্রমবর্ধমান ধারাবাহিক ব্যবহার যেমন মানব জাতিকে প্রকৌশলগত উন্নয়নের চরমে নিয়ে পৌঁছিয়েছে সেই সাথে ভয়ঙ্কর রকম বিষাক্ত করে তুলেছে এই সবুজ প্রাণময় বিশ্বকে তার উৎপাদিত ক্ষতিকারক বর্জ্যে। যা কিনা ইদানীং হুমকি হিসেবে দেখা দিয়েছে জনস্বাস্থ্যের জন্যে, বাড়িয়ে তুলেছে গ্রীনহাউস গ্যাসের ঘনত্ব; ফলাফলে, বৈশ্বিক উষ্ণতা<sup>৪</sup> বৃদ্ধি আজ মানব জাতির স্থায়ীত্বের প্রতি হুমকি হয়ে দাঁড়িয়েছে। বাড়তে বাড়তে আজকের দিনে তেলের চাহিদা গোটা বিশ্বে সেকেন্ড প্রতি প্রায় ১০০০ ব্যরলে দাঁড়িয়েছে, তার মানে হলো, পৃথিবীতে বসবাসকারী প্রতিটি মানুষ দিনে দুই লিটার<sup>৫</sup> করে তেল পুড়িয়ে চলেছে। অর্থাৎ দিনে প্রায় ১৫ ট্রিলিয়ন ওয়াট পরিমাণ বিদ্যুৎ শক্তি এখন বৈশ্বিক চাহিদার অন্তর্ভুক্ত। আগামী ২০৩০ সাল নাগাদ এই চাহিদা বেড়ে দাঁড়াবে প্রায় এর দেড় গুন<sup>৬,৭</sup> অর্থাৎ প্রায় পঁচিশ ট্রিলিয়ন ওয়াট!

প্রাকৃতিক প্রতিবেশের উপযুক্ততার নিরীখে বিচার্য পরিবেশের উপযুক্ততা বোধকরি বেশী কার্যকর হবে যদি সম্ভাব্য সমস্যাগুলোকে বিস্তৃত এবং ভিন্নতর দৃষ্টিকোন হতে ব্যাপকতার সাথে সামগ্রিক ভাবে বিবেচনা করা যায়। উদাহরণ স্বরূপ, একজন মার্কিন নাগরিক যে পরিমাণ জ্বালানী শক্তি ব্যবহার করেন তা দু'জন ইউরোপীয়ান কিংবা দশজন চাইনিজ বা বিশজন ভারতীয় অথবা ত্রিশজন<sup>৮</sup> আফ্রিকান নাগরিকের সমমান সম্পন্ন। যদি তাই হয়, তবে এই যে একই বিষয়ের কার্যকর ব্যবহারের বিভিন্নতা, এটিই হলো সবথেকে উল্লেখযোগ্য বৈপরীত্য বিশ্ববাসীর মধ্যে, এবং সম্ভবতঃ জটীলতম সমস্যা যার আশু নিষ্পত্তি দরকার। তদুপরি আমরা খুবই সতর্কতার সঙ্গে লক্ষ্য করলে দেখতে পাবো যে, মানব সভ্যতার স্থায়ীত্বের মাত্রা পরিবেশের আনুসঙ্গিক প্রতিবেশের ব্যাপক ভিন্নতার মাত্রার সাথে বিপরীতানুপাতে ঘটে।

প্রশ্ন হচ্ছে আমরা কতোদূর এগুতে পারবো এ পথে? এখানেই মুখোমুখি হতে হয় কতক মৌলিক দ্বন্দ্বের<sup>৯</sup>; অনেক নিগূঢ়তম এবং জটিল আবর্তে নিপতিত কিছু প্রশ্নের উত্তরও প্রস্তুত রাখতে হয়, যার

মুখোমুখি হতে হয় নিরন্তর। বস্তুতঃপক্ষে রাষ্ট্রের পরিকল্পনা প্রনয়ক, আইন বিধায়ক এবং রাজনৈতিক নেতৃত্বের দৃষ্টিভঙ্গীগত বিষয়াবলীর নিরীখেই অনেক সময় গবেষণা কার্যক্রমের ধারাবাহিকতা নির্ভর করে। ইস্যুতো সে গুলোই, যখন রাজনৈতিক অদূরদর্শীতায় শক্তি রসদের গোলায় অপ্রতুলতা দেখা দেয়। কিংবা জনগুরুত্বপূর্ণ ইস্যু, অবহেলিত ক্রমবর্ধমান দূষণ হার অথবা অসহ্য ধনী-দারীদ্র ব্যাবধান, এই সবই আসলে দেখা দেয় সামাজিক-রাজনৈতিক বাধা হিসেবে। রাষ্ট্রযন্ত্রের সাথে তার অনন্য অঙ্গ জনগনের কোন দ্বন্দ্ব নেই, থাকে তার চালকের সাথে। রসায়নবিদ হিসেবে হয়তো আমরা চেষ্টা করতে পারি শক্তি কিংবা শক্তি উৎসের কৌশলগত উন্নয়নের কিংবা অভাবিত কোন উদ্ভাবনী এনে দিতে পারে শক্তি সংকটের পরিপূর্ণ বিধান, পরিপূর্ণতা।

একদিক দিয়ে আমরা ভাগ্যবান এইজন্যে যে, আমাদের এই আস্ত বিশ্বে এককভাবে মহাশূন্যে ভাসমান এক মহাকাশ যানের মতো। রসায়নের ভাষায় যাকে আমরা তুলনা করতে পারি এক বদ্ধ-প্রকৃয়ার বা ক্লোজড সিস্টেমের (Closed System) সাথে। আমাদের বিশ্ব এবং তাবৎ শক্তির আধার এই সূর্যের মধ্যে সম্পর্ক হলো তেমনি এক ক্লোজড সিস্টেম এবং সারাউন্ডিং এর মতো। এখানে সূর্য থেকে প্রাপ্ত শক্তির একটা বড় অংশই অব্যবহৃত এবং অগৃহীত অবস্থায় থেকে যায়। প্রায় ১২০,০০০ TW (ট্রিলিয়ন ওয়াট) শক্তি সূর্য থেকে বিকিরিত হয়ে আমাদের ধরনীতলে পৌঁছচ্ছে। এই যে শক্তির পরিমাণ, এ এক বিপুল ভান্ডার, বিশ্বের সমগ্র মানব সভ্যতার প্রয়োজনের তুলনায় বিশাল মজুদ!

আমাদের ভূভাগ পৃথিবী পৃষ্ঠে বিকিরিত শক্তির মাত্র ০.১৬ ভাগ পরিমাণে গ্রহন করে আর গৃহীত এই শক্তির মাত্র শতকরা ১০ ভাগ কার্যকর ভাবে ব্যবহৃত হয়। এই প্রাকৃতিক ভাবে ব্যবহৃত শক্তির মোট পরিমাণ হলো ২০ TW<sup>৫</sup> (ট্রিলিয়ন ওয়াট)। এই পরিমাণটি বর্তমানে বিশ্বব্যাপী আমরা যে পরিমাণ জীবাশ্ম জ্বালানী ব্যবহার করি তার প্রায় দ্বিগুন। আরো স্পষ্টভাবে বললে বলা যায়, এই শক্তির পরিমাণ হলো ঠিক ততটুকু যা কিনা ২০,০০০ পারমানবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রে উৎপাদিত হবে যদি প্রতিটি কেন্দ্রের উৎপাদন ক্ষমতা ১ GW<sub>e</sub> (গিগা ওয়াট) পরিমাণ হয়। উপরোক্ত তথ্য থেকে বুঝাই যাচ্ছে যে, সৌর বিকিরণই শেষ পর্যন্ত আমাদের মূল জ্বালানী শক্তির উৎস। কাজেই কিভাবে প্রকৃতি সূর্যের এই বিপুল পরিমাণ শক্তি সম্ভার ব্যবহার করছে তা জানলেই এখন আর আমাদের চলছে না<sup>৬</sup>, বরং জানা দরকার ঠিক কোন পদ্ধতিতে এই বিপুল শক্তি সম্পদকে অনায়াসে করায়ত্ত্ব করা যায় এবং ব্যবহার করা যায় মানব সভ্যতার ভবিষ্যৎ ক্রমবিকাশে<sup>৮, ১০ - ১৪</sup>।

প্রাগৈতিহাসিক ভূ-তাত্ত্বিক যুগে সূর্য যে আমাদের শক্তি বিকিরণ করেছিলো সেই শক্তির কিয়দংশ আজো আমরা জীবাশ্ম জ্বালানী হিসেবে ভূ-ত্বকের নীচে সঞ্চিত অবস্থায় দেখি। নবায়ন অযোগ্য এই শক্তি উৎসটিই আজ আমরা মরিয়া হয়ে ব্যবহারে উন্মুখ! অথচ সূর্য যে প্রতিদিন প্রতিক্ষন কি বিপুল শক্তি উৎস নিয়ে দাঁড়িয়ে, কি বিপুল তেজ বিকিরণ করে চলেছে, কি এক অনিশ্চেষ্ট শক্তির উৎস! আমরা এখনো ব্যবহার উপযোগী করে তুলতে পারিনি এই বিপুল অথচ সতন্ত্র শক্তি সম্ভারের সম্ভাব্য উৎসটিকে। প্রশ্নাতীত নয় অথচ আপাতঃ যুক্তিগ্রাহ্য এই শক্তি উৎসটি সম্পর্কে বিক্ষ্যাত ইটালীয় বিজ্ঞানী অধ্যাপক জিয়াকোমো সিয়ামিসিয়ান সর্বপ্রথম ইঙ্গিত করেছিলেন তাঁর গবেষণা সংক্রান্ত এক বিক্ষ্যাত বক্তৃতায়। ১৯১২ সালে নিউইয়র্কে অনুষ্ঠিত পিওর এন্ড অ্যাপ্লাইড কেমিস্ট্রির ৮ম আন্তর্জাতিক কংগ্রেসে<sup>৫</sup> তাঁর উক্ত বক্তৃতার শিরঃনাম ছিলো, “The Photochemistry of the Future”। সেখানে তিনি বলেছিলেন, “মানব সভ্যতা যতদূর সম্ভব পরিপূর্ণ ভাবেই জীবাশ্ম জ্বালানী রূপে সঞ্চিত

সৌরশক্তির ব্যাপক ব্যবহার করছে। কিন্তু সঞ্চিত শক্তিটুকু কে বাঁচিয়ে বিকিরিত শক্তিকে ব্যবহার উপযোগী করাটা কি বেশী যুক্তিযুক্ত এবং মঙ্গল জনক হতো না ?” অধ্যাপক সিয়ামিসিয়ান অবশ্য জানতেন যে, সৌরশক্তি নির্ভর মানব সভ্যতাকে অপরাপর শক্তি নির্ভর সভ্যতার সঙ্গে টিকে থাকতে এক ব্যাপকতর অর্থনৈতিক শক্তি ব্যবধানের ভারসাম্যহীনতাকে মোকাবেলা করতে হবে, যা তখনকার বাস্তবতা হলেও এখনো বিদ্যমান। তা ছাড়াও বিশ্বের উত্তর ও দক্ষিণের সৌর বিকিরণের অসাম্যতা। যেখানে এই সৌরকিরণ অসাম্যরূপে দীপ্তিমান, পৃথিবী পৃষ্ঠে তার শক্তি বিকিরণের হার নির্ভর করে ভৌগলিক অবস্থান এবং জলবায়ুর উপরে। কাজেই কোন কোন এলাকা হবে প্রাকৃতিক ভাবেই অনায়াস লব্ধ সৌর শক্তির আধার আর কোন কোন এলাকা অপেক্ষাকৃত অপ্রতুল শক্তি নির্ভর। সুতরাং সৌর শক্তি ব্যবহারোপযোগী হলে প্রথমোক্ত এলাকা গুলো শক্তি সমৃদ্ধশালী হবে। বিষুবীয় অঞ্চলের দেশ গুলো সম্ভবতঃ হুমকির সম্মুখীন হবে অপরাপর অধুনা সমৃদ্ধ দেশ ও সভ্যতার দ্বারা যখন তারা তাদের আদৌম অবস্থায় ফিরতে বাধ্য হবে এই নবায়ন যোগ্য নতুন শক্তি উৎসের কারণে। উক্ত বৈজ্ঞানিক নিবন্ধের সর্বশেষ বাক্যটিও যথেষ্ট তাৎপর্যপূর্ণ এমনকি আজকের বাস্তবতায়ও, যেখানে জীবাশ্ম জ্বালানীর (কয়লা) সাথে তেল, গ্যাস এবং আধুনিক আনবিক শক্তিকেও শক্তি উৎস হিসেবে গন্য করা হয়েছে। তিনি বলেছিলেন, “যদিও আমাদের অন্ধ মানসিক দ্বন্দ্ব আক্রান্ত দোদুল্যমান সভ্যতা, যা কিনা কয়লা নির্ভর, অতি আবশ্যিক সৌরশক্তি নির্ভর এক অত্যাধুনিক সভ্যতায় পর্যবসিত হবে নিরবে নিভৃতে, তবে কখনোই হয়তো বিপজ্জনক হয়ে উঠবে না অগ্রসরমান মানব প্রগতি এবং সুখী সমৃদ্ধ মানবজাতির কাছে”।

একটা বিশেষ গুরুত্ব আছে এই সৌরশক্তির, পরিচ্ছন্ন, অপরিমিত এবং সহজপ্রাপ্য শক্তি উৎস হিসেবে এর জুড়ি নেই; ঠিক লভ্য পর্যায়ে সে ব্যবহারোপযোগী নয়। একে আহরিত পর্যায়ে এনে অতঃপর ব্যবহারোপযোগী পর্যায়ের শক্তি হিসেবে বদলে নিতে হবে। কারণ সৌর কিরণ মূলতঃ ক্রমহ্রাসমান দীপ্তিতে অপসূয়মান শক্তি (প্রায়  $190 \text{ Wm}^{-1}$ ; ওয়াট/মিনিট) রূপে আমরা পাই; তাছাড়া দিন ও রাতের আবর্তনে একে আমরা কোন নির্দিষ্ট এলাকায় পর্যায়ক্রমিক শক্তি উৎস হিসেবেও পাই যা কিনা নিরবিচ্ছিন্ন শক্তি প্রবাহ নয়। অতএব ব্যবহারোপযোগী শক্তিতে পরিবর্তনের সাথে সাথে এর শক্তি মাত্রার উন্নয়নের পাশাপাশি শক্তি সংরক্ষনের বা মজুদের বিষয়টিও সমান গুরুত্বপূর্ণ। তবে যে বিষয়টা প্রধান চ্যালেঞ্জ হিসেবে আমাদের সামনে থেকেই যাচ্ছে তা হলো শক্তি উৎপাদন এবং সংরক্ষন। শুধু তাই নয় শক্তিকে সরবরাহ বা স্থানান্তরের ব্যাবস্থাপনাও একটি গুরুত্বপূর্ণ ইস্যু। যেমন হাইড্রোজেন, হতে পারে এটি একটি বিকল্প জ্বালানী উৎস এই চলমান শক্তিসংকটের যুগে এবং পাশাপাশি পরিবেশ বিপর্যয়ের মুখে গ্যাসটি ইতিবাচকও বটে, মানে পরিবেশ বান্ধব।

আসা যাক, আলোকসম্পাত জনিত প্রতিক্রিয়া প্রসঙ্গে। আলোকসম্পাতে বস্তুর অন্তর্ভুক্তিতে যে উদ্দীপনা জাগায়, রাসায়নিক ক্রিয়া-বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে এটিই মূলতঃ প্রণোদনা হিসেবে বিরাজমান, ফলশ্রুতিতে এক ব্যাপক বিস্তার ঘটে রাসায়নিক বিক্রিয়ার রকম ফেরে। শক্তি রূপান্তরে সম্ভবতঃ আলোকসম্পাত জনিত (Photo-induced) রাসায়নিক প্রতিক্রিয়ায় ইলেকট্রনের পৃথকীকরণ বা ইলেক্ট্রন ট্রান্সফারই (Electron transfer) প্রকৃতিতে নিয়তঃ ক্রিয়াশীল একটি নির্ভরযোগ্য এবং বোধগম্য প্রকৃতি। এই পদ্ধতিতে একটি চার্জ পৃথকীকৃত হয়ে আয়নাবস্থার (Charge separated state) সৃষ্টি হয়, যেটা কিনা উচ্চ শক্তি সম্পন্ন অনু (Molecule) গঠন করে। আর উচ্চ শক্তির অনু গুলোই কোন প্রাণ প্রবাহ বা সৃষ্টিতে শক্তির উৎস হিসেবে ক্রিয়াশীল।

প্রাথমিক ইলেকট্রন ট্রান্সফার বা চার্জ পৃথকীকরণ বিক্রিয়া আসলে একটি পর্যায়ক্রমিক জারণ-বিজারণ (REDOX Reaction) প্রকৃয়া। জারণ কালে ইলেকট্রনের মায়া মুক্তি ঘটে পক্ষান্তরে বিজারণে সে হয় শৃঙ্খলিত মায়াময় বন্ধনে! তবে এই ইলেকট্রন মুক্তির প্রকৃয়াটি বা জারণ-বিজারণ ক্রিয়া সমূহ সম্পন্ন হয় মূলতঃ সালোকসংশ্লেষনের বিক্রিয়া কেন্দ্রে। এখানে উদ্ভূত ইলেকট্রন সমূহ পর্যায়ক্রমিক কো-ফ্যাক্টরের (Co-factors) মাধ্যমে স্থানান্তরিত হয়ে জমা হয় ক্লোরোফিল এর ইলেকট্রন কূপে (Electron hole)। প্রায় সব সালোক সংশ্লেষী জৈব দেহে, যারা এ প্রকৃয়ায় অক্সিজেন উৎপাদন করে তাদের মাঝে যুগপৎ দুই ধরনের বিক্রিয়া কেন্দ্র দেখা যায়। যেমন, ফটোসিস্টেম-২ এবং ফটোসিস্টেম-১। এদের উপস্থাপন করা হয় যথাক্রমে PS-II এবং PS-I হিসেবে। এই দুটি বিক্রিয়া কেন্দ্রই আসলে রঞ্জক বা এক ধরনের প্রোটিনের জটিল যৌগ। সত্তরের দশকে শক্তি সংকটের প্রেক্ষাপটে বেশ কিছু উচ্চমান আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়া (Endoergonic photochemical reactions) নিয়ে কাজ হয়েছিলো। যেখানে উচ্চ শক্তির উৎপাদ (Products) প্রস্তুতে সক্ষম বিক্রিয়ার সম্ভাবনা প্রস্তাব করা হয়েছিলো, প্রাকৃতিক ভাবে সংঘটিত প্রকৃয়ার আদলে। আলোক বিশ্লেষণ (Photo-dissociation) এবং ভ্যালেন্স ফটো আইসোমারাইজেশন<sup>১৬</sup> (Valence photo-isomerization) এদের মধ্যে অন্যতম। অর্থাৎ, কৃত্রিম অনুকল্পিত আলোক-রাসায়নিক বিক্রিয়া, যার দ্বারা সৌরশক্তির রূপান্তর ঘটবে এবং রূপান্তরিত শক্তি থাকবে সংরক্ষিত।

প্রসঙ্গক্রমে আলোক রাসায়নিক বিশ্লেষণ এবং ভ্যালেন্স ফটো আইসোমারাইজেশন নিয়ে একটু আলোকপাত করা যাক। আলোক বিশ্লেষণ এক ধরনের রাসায়নিক বিক্রিয়া, যেখানে আলোক কণা, ফোটনের আঘাতে কোন রাসায়নিক যৌগ ভেঙ্গে গিয়ে সাধারণতঃ উচ্চ স্থিতিশক্তি সম্পন্ন অপেক্ষাকৃত সরল যৌগে পরিণত হয়। এই যে যৌগের বিশ্লেষণ, এ শুধু দৃশ্যমান আলোর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য তা নয়, যেকোন আলোর ফোটন কণা যদি যথাযথ শক্তি সম্পন্ন হয় তো অনায়াসেই রাসায়নিক যৌগের বন্ধনের উপরে প্রভাব বিস্তার করতে পারে। এমনকি আমাদের বায়ু মন্ডলের আয়নস্তরেও সৌর কিরণ অক্সিজেন অনু কে ভেঙ্গে যে মুক্ত অক্সিজেনের পরমানু গঠন করে তা বাহ্যতঃ সূর্যের আল্ট্রাভায়োলেট রশ্মি শোষণকারী ওজন স্তর সৃষ্টিতে বিশেষ সহায়ক ভূমিকা পালন করে। ফটো আইসোমারাইজেশনও অনুরূপ এক ধরনের বিশেষ আলোক-রাসায়নিক বিক্রিয়া। এখানে আলোক রশ্মির প্রভাবে কোন রাসায়নিক অনুর উচ্চ শক্তির গঠন বা কাঠামোগত পরিবর্তন সাধন হয়। আলোক সম্পাত জনিত কারণে এই যে অনুর অন্তর্ভুক্তগতের কাঠামো গত পরিবর্তন তা আবার উভয়মুখী (Reversible) অথবা একমুখী (Irreversible) এই দুই ধরনেরই হতে পারে। সাধারণতঃ উভয়মুখী বা রিভার্সিবল ফটোআইসোমারাইজেশনের প্রতি আমাদের আগ্রহ একটু বেশী; কারণ, একে পৌণঃপৌনিক কাজে লাগানোর মতো করে গড়ার প্রচেষ্টা মাত্র! বিশেষ করে পূর্ণলিখন যোগ্য (Rewritable) সিডি, ডিভিডি এবং অপটিক্যাল ডাটা সংগ্রাহক সহ আজকাল আনবিক সুইচিং, আনবিক মোটোর কিংবা আনবিক ইলেকট্রনিক্সে ব্যাপক ভাবে ব্যবহার হচ্ছে। এই ফটো আইসোমারাইজেশন আবার দু'টি বিশেষ শ্রেণীতে বিভাজিত। একটি হলো ট্রান্স (Trans) বা E অথবা সিজ (Cis) বা Z এর আন্তঃকাঠামো রূপান্তর আর অন্যটি হলো মুক্ত-শেকল (Open chain) এবং বন্ধ-শেকল (Closed chain) আন্তঃকাঠামো রূপান্তর। আলোক সম্পাত জনিত কারণে প্রথমোক্ত ক্ষেত্রে দ্বিবন্ধন বা ত্রিবন্ধন গঠনের মাধ্যমে নতুন আনবিক কাঠামো সৃষ্টি করে যা আবার শক্তি বিকিরণের দ্বারা পূর্বাবস্থায় প্রত্যাবর্তন করে। আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে চক্রাকার ঘূর্ণন অথবা বন্ধনী যুগলের মাঝে কৌনিক পরিবর্তনের

মাধ্যমে একটি যৌগ রূপান্তরিত হয় অপেক্ষাকৃত উচ্চশক্তির যৌগে কিংবা চক্রাকার যৌগে! কিন্তু প্রাপ্ত এই যৌগ গুলোর পরীক্ষা লব্ধ ফলাফল ছিলো নিছকই হতাশা ব্যাঞ্জক!

প্রাকৃতিক সালোক সংশ্লেষণ (Natural photo-synthesis) প্রকৃষ্টিটির কার্যকর সংঘটন পদ্ধতি (Mechanism) আংশিকও যদি ব্যাখ্যা যোগ্য হতো, তবে প্রাকৃতিক এই পদ্ধতিটির কৃত্রিম অনুকল্প প্রকৃষ্টির সৌরশক্তির রূপান্তরের বিষয়ে অনেক গবেষক বা গবেষকমন্ডলী কাজ শুরু করতে পারতেন ঠিক যেমনটি অধ্যাপক সিয়ামিসিয়ান ইঙ্গিত<sup>৫</sup> করেছিলেন। তাঁর একটি উক্তি এখানে প্রনীধান যোগ্য, “আলোক রাসায়নিক এই যে প্রকৃষ্টি, অননুধাবিত এই বোধটিই প্রকারান্তরে আড়াল করে রেখেছে উদ্ভিদে সংঘটিত প্রকৃষ্টিটির রহস্যময়তা; মানব জাতির কর্মপ্রয়াস এবং নিরন্তর অনুসন্ধান একদিন তা উদ্ঘাটন করবেই এবং প্রাকৃতিক পদ্ধতির তুলনায় অনেক বেশী উৎকর্ষতা প্রতিভাত হবে কারণ, প্রকৃষ্টি তার অমোঘ নিয়মের অধীন, মানব জাতি তাড়িত তার সহজাত অস্তিত্বের, শ্রেষ্ঠত্বের লড়াইয়ে”। একটি বিষয়ে মনে রাখা দরকার এই যে, হাতে আশান্বিত হবার মতো উপাত্ত না থাকলেও আমরা আশা করতে পারি যে তা সুদূর পরাহত হয়তো নয়। অতি নিগূঢ় গবেষণা এবং অনুসন্ধিৎসা সহসাই হয়তো উন্মোচিত করবে বিস্তর তথ্য সম্ভার দিয়ে এই প্রাকৃতিক আলোক রাসায়নিক প্রকৃষ্টি। আর রসায়নের জগতে যুগান্তকারী সফলতা হয়তো বেশী দূরে নয় যখন কৃত্রিম আলোক রাসায়নিক প্রকৃষ্টি চলমান শক্তি সংকটের যুগে আবারও অপ্রতিরোধ্য বিকাশে এবং অগ্রযাত্রায় আলোকোজ্জ্বল রাজপথ অবমুক্ত করবে।

#### তথ্যসূত্র:

- [১] N. Armaroli, V. Balzani, *Angew. Chem.* 2007, 119, 52; *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, 46, 52.
- [২] M. R. Simmons, *Twilight in the Desert*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2005.
- [৩] G. O. Olah, A. Goepert, G. K. S. Prakash, *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- [৪] Special section on “Sustainability and Energy” : *Science* 2007, 315, 781 – 813.
- [৫] P. Tertzakian, *A Thousand Barrels a Second*, McGraw-Hill, New York, 2006.
- [৬] *Key World Energy Statistics 2007*, International Energy Agency, Paris, 2007; [http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key\\_stats\\_2007.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf).
- [৭] *International Energy Outlook 2007*, Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, Washington, DC, 2007; <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>.

- [17] V. Smil, *Energy*, Oneworld, Oxford, **2006**.
- [18] This fundamental issue of scientific research has been beautifully expressed in poetical sentences by Wilhelm Ostwald: “*Life is a water mill: the effect produced by the falling water is achieved by the rays of the sun. Without the sun the wheel of life cannot be kept going. But we have to investigate more closely which circumstances and laws of Nature bring about this remarkable transformation of the sunrays into food and warmth*” [translated from German “Die Rolle des fallenden Wasser aber wird bei der Maschine des Lebens von den Sonnenstrahlen Zbernommen; ohne die Sonnenstralen kann das rad des Lebens nicht im Gang erhalten werden und wir werden noch genauer erforschen mZssen, auf welchen VerhWltnissen und Naturgesezen diese merkwZrdige Umwandlung der Sonnenstralen in Nahrungsmittel und WWrme beruht” , W. Ostwald, *Die Muehle des Lebens*, Thomas, Leipzig, **1911**) into English by Horst Hennig (Leipzig): H. Hennig, R. Billing, H. Knoll, in *Photosensitization and Photocatalysis* (Eds.: K. Kalyanasundaram, M. GrWtzel), Kluwer, Dordrecht, **1993**].
- [19] R. F. Service, *Science* **2005**, 309, 548.
- [20] *Basic Energy Sciences Report on Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, Office of Science U.S. Department of Energy, Washington, DC, **2005**; [http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU\\_rpt.pdf](http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf).
- [21] Special issue on “Forum on Solar and Renewable Energy” : *Inorg. Chem.* **2005**, 44(20).
- [22] N. S. Lewis, D. G. Nocera, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2006**, 103, 15729.
- [23] G. W. Crabtree, N. S. Lewis, *Phys. Today* **2007**, 60(3), 37.
- [24] G. Ciamician, *Science* **1912**, 36, 385. This paper has been published in four languages (English, German, French, and Italian). Giacomo Ciamician, one of the most important pioneers of photochemistry, was Professor of Chemistry at the University of Bologna, where the chemistry department is now named in his honor. For more information about Ciamician, see, for example: N. D. Heindel, M. Pfau, *J. Chem. Educ.* **1965**, 42, 383.
- [25] See, for example: *Solar Energy: Chemical Conversion and Storage* (Eds.: R. R. Hautala, R. B. King, C. Kutal), Humana Press, Clifton, **1979**.