সৌর অভিযান: সূর্যের গোপন রহস্য উন্মোচন

লেখিকা: সঞ্চিতা পাল, পি.এইচ.ডি
NASA Postdoctoral Program (NPP) Fellow
NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA
Email: sanchita.pal@nasa.gov

সূর্য ও তার বিবরণ:

সূর্য হল সৌরজগতের কেন্দ্রে আমাদের সবচেয়ে কাছে অবস্থিত ৪.৫ বিলিয়ন বছরের পুরনো একমাত্র উজ্জ্বল নক্ষত্র। আমাদের সবচেয়ে কাছে হলেও এটি পৃথিবী থেকে প্রায় ১৫০ মিলিয়ন কিলোমিটার দূরে অবস্থিত। পৃথিবী থেকে সূর্যকে তাপের অপরিবর্তনীয় উৎস মনে হলেও এটি আসলে একটি হাইড্রোজেন এবং হিলিয়াম গ্যাস দিয়ে তৈরি গতিশীল একটি নক্ষত্র। এটি ক্রমাগত পরিবর্তিত হয় এবং মহাকাশে শক্তি প্রেরণ করে। সূর্য এবং তার প্রভাব সম্পর্কে আলোচনাকে বলা হয় হেলিওফিজিক্স।

সূর্য আমাদের ছায়াপথ আকাশগঙ্গায় অবস্থিত ১০০ বিলিয়ন নক্ষত্রের মধ্যে একটি সাধারণ নক্ষত্র হলেও এটির প্রভাব আমাদের গ্রহে অসাধারণ গুরুত্বপূর্ণ। পৃথিবীর আবহাওয়া, সমুদ্রের স্রোত, ঋতু এবং জলবায়ুকে সূর্য নিয়ন্ত্রণ করে। উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষে প্রয়োজনীয় আলো এবং তাপের একমাত্র উৎস হলো সূর্য। সূর্য ছাড়া পৃথিবীতে প্রাণের অস্তিত্ব থাকা একেবারে অসম্ভব।

প্রায় ৪.৫ বিলিয়ন বছর আগে, সূর্য একটি হাইড্রোজেন এবং হিলিয়াম দ্বারা গঠিতমলিকুলার ক্লাউড থেকে আকৃতি নিতে শুরু করে। কাছাকাছি একটি সুপারনোভার (তারার একটি শক্তিশালী এবং আলোকিত বিস্ফোরণ) থেকে নির্গত হওয়া শকওয়েভ-এর (আঘাত তরঙ্গ) সংস্পর্শে আসার কারণে ওই আণবিক মেঘ শক্তিশালী হয় ও তা সংকুচিত হতে শুরু করে। এই সংকুচিত আণবিক মেঘের কিছু অংশ তাদের নিজস্ব মহাকর্ষীয় টানের প্রভাবে ক্রমবর্ধমান চাপ থেকে ঘূর্ণায়মান এবং উত্তপ্ত হতে শুরু করে। বেশিরভাগ হাইড্রোজেন এবং হিলিয়াম এই উষ্ণ, ঘূর্ণমান ভরের কেন্দ্রে রয়ে যায়। যথেষ্ট উত্তপ্ত হয়ে ওঠার কারণে এই গ্যাসগুলি পারমাণবিক ফিউশন শুরু করে এবং আমাদের সৌরজগতের একমাত্র শক্তির উৎস সূর্য হয়ে ওঠে। আণবিক মেঘের অন্যান্য অংশগুলি ঠাণ্ডা হয়ে সৌরজগতের গ্রহ, গ্রহাণু, ধূমকেতু এবং অন্যান্য উপাদানে পরিণত হয়।

সূর্য আমাদের সৌরজগতের সবচেয়ে বড় বস্তু। এর ব্যাসার্ধ প্রায় ৭০০,০০০ কিলোমিটার যা পৃথিবীর ব্যাসার্ধের প্রায় ১০৯ গুণ এবং এর ভর পৃথিবীর তুলনায় ৩৩৩,০০০ গুণ। সৌরজগতের ভরের প্রায় ৯৯.৮ শতাংশ সূর্যের মধ্যে কেন্দ্রীভূত রয়েছে।

সূর্যের অভ্যন্তরে জ্বলন্ত গ্যাসগুলি আসলে প্লাজমার আকারে থাকে। প্লাজমা হল গ্যাসের অনুরূপ পদার্থের একটি অবস্থা, যেখানে বেশিরভাগ কণা আয়নযুক্ত। এর মানে হল কণাগুলিতে ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি বা হ্রাস পেয়েছে। সূর্যের প্রায় তিন চতুর্থাংশ হাইড্রোজেন রয়েছে, যা ক্রমাগত একত্রিত হয়ে নিউক্লিয়ার ফিউশন নামক একটি প্রক্রিয়ার মাধ্যমে হিলিয়াম তৈরি করে। সূর্যের প্রায় অবশিষ্ট এক চতুর্থাংশ হিলিয়াম এবং খুব ছোট শতাংশ (1.69 শতাংশ) অন্যান্য গ্যাস এবং ধাতু যেমন লোহা, নিকেল, অক্সিজেন, সিলিকন, সালফার, ম্যাগনেসিয়াম, কার্বন, নিয়ন, ক্যালসিয়াম এবং ক্রোমিয়াম দ্বারা গঠিত। এই ১.৬৯ শতাংশ তুচ্ছ মনে হতে পারে, কিন্তু এর ভর পৃথিবীর ভরের ৫৬২৮ গুণ।

সূর্য প্রায় সম্পূর্ণ হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম দিয়ে তৈরী কতকগুলি স্তর দ্বারা গঠিত। এই গ্যাসগুলি প্রতিটি স্তরে বিভিন্ন কার্য সম্পাদন করে এবং সূর্যের স্তরগুলি সূর্যের মোট ব্যাসার্ধের শতাংশ দ্বারা পরিমাপ করা হয়। সূর্য পৃথিবীর মতোই তার নিজের অক্ষের চারপাশে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘোরে এবং একটি ঘূর্ণন সম্পূর্ণ করতে ২৫ থেকে ৩৫

দিনের মধ্যে সময় নেয়। সূর্যের ঘূর্ণনকে ডিফারেনশিয়াল ঘূর্ণন বলা হয় কারণ এটির বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন বেগে ঘোরে। উদাহরণস্বরূপ, সূর্যের বিষুবরেখা তার মেরুগুলির চেয়ে অনেক দ্রুত ঘোরে।

সূর্যের চৌম্বক ক্ষেত্র হলো জটিল এবং রহস্যময় যা সূর্যের অভ্যন্তর থেকে সৌরজগতের শেষ প্রান্ত পর্যন্ত বিস্তৃত। এটি সূর্যের সকল ক্রিয়াকলাপকে প্রভাবিত করে, যার মধ্যে রয়েছে সৌর কলঙ্ক, সৌর ঝড় এবং সৌর চক্র। সূর্যের চৌম্বক ক্ষেত্র তিনটি জটিল প্রক্রিয়ার দ্বারা তৈরি হয়: বৈদ্যুতিক প্রবাহ, ঘূর্ণন, এবং বিদ্যুৎ সঞ্চালন। সূর্যের বিষুবরেখার কাছে, চৌম্বক রেখাগুলি কাছাকাছি ছোট ছোট লুপ তৈরি করে। এই লুপগুলি সূর্যের অভ্যন্তরে থেকে উৎপন্ন হয় এবং সূর্যের পৃষ্ঠে পৌঁছায়। সূর্যের মেরুর কাছে, চৌম্বক রেখাগুলি বিপরীত মেরুতে ফিরে যাওয়ার আগে হাজার হাজার কিলোমিটার পর্যন্ত প্রসারিত হয়।

সূর্য সাধারণত ছয়টি স্তর নিয়ে গঠিত: কোর, রেডিয়েটিভ জোন, কনভেক্টিভ জোন, ফটোস্ফিয়ার, ক্রোমোস্ফিয়ার এবং করোনা।

কোর বা কেন্দ্র (Core):
সূর্যের কোর, পৃথিবীর আকারের এক হাজার গুণেরও বেশি একটি বিশাল শক্তিশালী চুল্লি। এর তাপমাত্রা প্রায় ১৫.৭ মিলিয়ন কেলভিন এরও বেশি। এই অঞ্চল সূর্যের ব্যাসার্ধের প্রায় ২৫ শতাংশ পর্যন্ত বিস্তৃত। কোর হল একমাত্র অঞ্চল যেখানে পারমাণবিক ফিউশন বিক্রিয়া ঘটতে পারে। সূর্যের অন্যান্য স্তরগুলি এই অঞ্চলে তৈরী পারমাণবিক শক্তি থেকে উত্তপ্ত হয়। কেন্দ্রে পারমাণবিক ফিউশনের সময়, দুই ধরণের শক্তি নির্গত হয়: ফোটন এবং নিউট্রিনো। এই কণাগুলি সূর্যের আলো, তাপ এবং শক্তি অনবরত বহন করে এবং সূর্য থেকে নির্গত করে। ফোটন হল আলোর ক্ষুদ্রতম কণা এবং ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক রেডিয়েশনের এক অন্যতম রূপ। নিউট্রিনো সনাক্ত করা কঠিন, এটি সূর্যের মোট শক্তির মাত্র দুই শতাংশ নিয়ে গঠিত।

রেডিয়েটিভ জোন (Radiative zone):
সূর্যের অভ্যন্তরের দ্বিতীয় স্তর হল বিকিরণ অঞ্চল। এই অঞ্চলটি সূর্যের ব্যাসার্ধের প্রায় ২৫% থেকে ৭০% পর্যন্ত বিস্তৃত। বিকিরণ অঞ্চলে, তাপমাত্রা হঠাৎ কমতে থাকে এবং তা সাত মিলিয়ন কেলভিন থেকে দুই মিলিয়ন কেলভিনের মধ্যে হয়। এই প্রক্রিয়া চলাকালীন, কোর অঞ্চল থেকে নির্গত ফোটনগুলি স্বল্প দূরত্ব ভ্রমণ করে, নিকটবর্তী আয়ন দ্বারা শোষিত হয়, তা দ্বারা পুনরায় নির্গত হয় এবং অন্য একটি দ্বারা আবার শোষিত হয়। এই প্রক্রিয়াটি অনবরত চলতে থাকে। একটি ফোটন প্রায় ২০০,০০০ বছর ধরে এই প্রক্রিয়া চালিয়ে যেতে পারে।

কনভেক্টিভ জোন (Convective zone):
এই অঞ্চলটি সূর্যের ব্যাসার্ধের প্রায় ৭০ শতাংশ থেকে শুরু হয়। অর্থাৎ, সূর্যের কেন্দ্রে থেকে তাপ পরিচলন পদ্ধতিতে সূর্যের পৃষ্ঠে পৌঁছায়। এই অঞ্চলে তাপমাত্রা প্রায় দুই মিলিয়ন কেলভিন হয়ে থাকে।

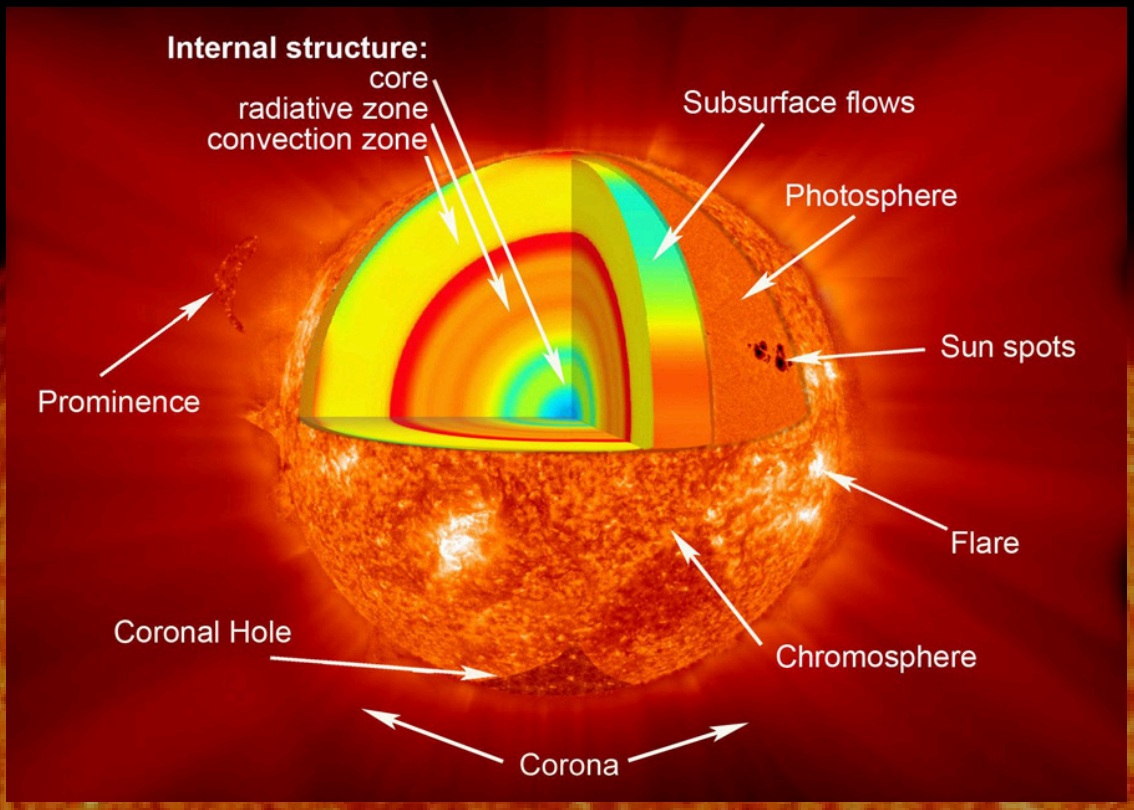
ফটোস্ফিয়ার (Photosphere):
ফটোস্ফিয়ার হল আমাদের সবচেয়ে বেশি পরিচিত সূর্যের দৃশ্যমান পৃষ্ঠ। যেহেতু সূর্য একটি গ্যাসের বল, ফটোস্ফিয়ার একটি কঠিন পৃষ্ঠ নয়। আসলে এটি প্রায় ১০০ কিলোমিটার পুরু একটি স্তর যেখানে তাপমাত্রা প্রায় ৬,০০০ কেলভিন হয়ে থাকে। একটি সাধারণ টেলিস্কোপ (ভাল ফিল্টার সহ) দিয়ে ফটোস্ফিয়ারে বেশ কয়েকটি বৈশিষ্ট্য পর্যবেক্ষণ করা যেতে পারে। এই বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে সবথেকে গুরুত্বপূর্ণ হলো সানস্পট। সানস্পটগুলি সূর্যের পৃষ্ঠে অন্ধকার দাগ হিসাবে উপস্থিত থাকে। সূর্যের দাগের অন্ধকার কেন্দ্রের তাপমাত্রা প্রায় ৩৭০০ কেলভিন নেমে যায়। এগুলি সাধারণত বেশ কয়েক দিন স্থায়ী হয়, যদিও খুব বড়গুলি কয়েক সপ্তাহ ধরে বাঁচতে পারে। সানস্পট হল সূর্যের চৌম্বকীয় অঞ্চল যেখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তি পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে হাজার গুণ বেশি শক্তিশালী।
এটি সোলার ফ্লেয়ার এবং করোনাল মাস এজেকশন-এর মতো সূর্যের অগ্নুৎপাতের একটি বিশাল উৎস। সোলার ফ্লেয়ার হলো সূর্যপৃষ্ঠে একধরণের প্রচণ্ড বিস্ফোরণ, যা মাত্র কয়েক মিনিটের মধ্যে বহু মিলিয়ন ডিগ্রী তাপমাত্রায় সূর্যের উপাদানকে উত্তপ্ত করে প্রায় এক বিলিয়ন মেগাটন এর মতো শক্তি উৎপন্ন করতে পারে। এই শক্তির প্রকাশ বিভিন্ন আকারে হতে পারে যেমন ইলেক্ট্রো-ম্যাগনেটিক রশ্মি (এক্স-রে এবং গামা রে),শক্তিশালী প্রোটন এবং ইলেকট্রন কণা, এবং ভর প্রবাহ। সোলার ফ্লেয়ার সাধারণত এক্স-রে (এক্স-রে ফ্লাক্স) এর উজ্জ্বলতা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।
অন্যদিকে করোনাল মাস এজেকশন (Coronal Mass Ejection, CME) হলো সূর্যের করোনা থেকে নির্গত প্লাজমা ও চৌম্বক ক্ষেত্রের একটি বিশাল স্রোত যা সূর্যের অগ্নুৎপাতের সময় তার চৌম্বক ক্ষেত্রকে সঙ্গে করে নিয়ে সূর্য থেকে নির্গত

হয়ে থাকে। এই ঘটনার প্রথম প্রমাণ ১৯৭১ থেকে ১৯৭৩ সালের মধ্যে একটি করোনাগ্রাফের সাহায্যে পাওয়া যায়। করোনাগ্রাফ হলো কৃত্রিম পদ্ধতিতে সূর্যগ্রহন তৈরী করার একটি উপায়। সূর্যের প্রাকৃতিক গ্রহণের সময় করোনা কয়েক মিনিটের জন্য দেখা সম্ভব হয়, যা CME-এর মতো বিশাল ঘটনা পর্যবেক্ষণের জন্য পর্যাপ্ত নয়। তাই কৃত্রিম পদ্ধতিতে গ্রহণ সৃষ্টি করে CME পর্যবেক্ষন করা হয়।

ক্রোমোস্ফিয়ার (Chromosphere):
ক্রোমোস্ফিয়ার হল ফটোস্ফিয়ারের উপরে একটি অনিয়মিত স্তর যেখানে তাপমাত্রা ৬,০০০°C থেকে প্রায় ২০০০০°C পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়। এই উচ্চ তাপমাত্রায় ক্রোমোস্ফিয়ার হাইড্রোজেন আলো নির্গত করে যা লালচে রঙের হয় (এইচ-আলফা নির্গমন)। যখন সূর্যকে স্পেকট্রোগ্রাফ বা ফিল্টারের মাধ্যমে দেখা হয়, তখন সূর্যের এই স্তরে কিছু বৈশিষ্ট চোখে পরে। এই বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে রয়েছে চৌম্বক ক্ষেত্র দিয়ে তৈরী ক্রোমোস্ফিয়ারিক নেটওয়ার্ক, সানস্পটের চারপাশে অবস্থিত উজ্জ্বল প্লেজ, ফিলামেন্ট এবং প্রমিনেন্স।
যে অঞ্চলটি ক্রোমোস্ফিয়ারকে তার পরবর্তী স্তর করোনার থেকে আলাদা করে তাকে ট্রানজিশন রিজিয়ন বলা হয়। এই ট্রানজিশন রিজিয়নের নিচের স্তরগুলি নিয়ন্ত্রিত হয় মাধ্যাকর্ষণ, গ্যাসের চাপ এবং শক্তি বিনিময়ের বিভিন্ন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে। এই অঞ্চলের উপরে, স্তরগুলি অনেক বেশি গতিশীল। তারা চৌম্বকীয় শক্তি দ্বারা প্রভাবিত হয়। এই চৌম্বকীয় শক্তি সৌর শক্তিসম্পন্ন ঘটনা যেমন CME এবং সৌর বায়ুকে পরিচালিত করে।

করোনা (Corona):
করোনা হল সৌর বায়ুমণ্ডলের সবচেয়ে বাইরের স্তর, এবং এটি মহাকাশে লক্ষ লক্ষ কিলোমিটার পর্যন্ত প্রসারিত। এটিকে সূর্যের সম্পূর্ণ গ্রহনের সময় সূর্যের চারপাশে একটি সাদা মুকুটের মতো দেখায়। করোনার তাপমাত্রা প্রায় ১০ মিলিয়ন কেলভিন। করোনার বিভিন্ন বৈশিষ্টের মধ্যে উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট গুলি হলো সৌর কলঙ্ক বা কোরোনাল হোল, পোলার plumes, কোরোনাল loops, এবং স্ট্রিমার। করোনার অসম্ভব বেশি তাপমাত্রার কারণ সৌরবিজ্ঞান অনুসন্ধানের একটি অন্যতম বিষয়।

করোনার তাপমাত্রা প্রচন্ড বেশি হওয়ার কারণে, এই অঞ্চলে, সূর্য মাধ্যাকর্ষণ শক্তি দিয়ে সৌর কণা ধরে রাখতে পারেনা। সে কারণে করোনাল গ্যাস সৌর বায়ু হিসেবে প্রায় ৪০০ কিমি/সেকেন্ড গতিবেগে সৌরজগতের দিকে প্রবাহিত হয় যা সৌরমণ্ডলের প্রতিটি উপাদানের সংস্পর্শে আসে পারে। সৌর বায়ু বাহিত কণা গুলি যখন পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে পৃথিবীর মেরুর কাছে পৌঁছয়, তখন এরা পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের সাথে সংঘর্ষ করে এবং শক্তি বিনিময়ের মাধ্যমে বায়ুমণ্ডলকে বিভিন্ন রঙে আলোকিত করে, যা মেরু প্রভা নামে পরিচিত। বিশেষত পৃথিবীর মেরু অঞ্চলে এই ধরণের ঘটনা ঘটার কারণে একে সুমেরু ও কুমেরু প্রভা বলা হয়ে থাকে।
নিচে সূর্যের অভ্যন্তরের ও বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর একটি কার্টুন-এর মাধ্যমে দেখানো হলো।



চিত্র: সূর্যের অভ্যন্তরীণ অঞ্চল, বায়ুমণ্ডল ও তার বিভিন্ন স্তর। সৌর অভ্যন্তরীণ কোর, রেডিয়েটিভ জোন এবং কনভেক্টিভ জোন। সূর্যের দৃশ্যমান পৃষ্ঠ ফটোস্ফিয়ার, তার উপরে থাকা সৌর বায়ুমণ্ডল, যার মধ্যে রয়েছে ক্রোমোস্ফিয়ার এবং করোনা।

সৌরজগতে আবহাওয়া সৃষ্টি এবং পরিবর্তনের পেছনে সৌরবায়ুর বিশেষ ভূমিকা রয়েছে। CME-এর মতো ভয়ঙ্কর সৌর বিস্ফোরণের কারণে যে চৌম্বকীয় সোলার মাস নির্গত হয় তা সৌর বায়ুর মাধ্যমে বাহিত হয়ে সৌরজগতে ভূ-চৌম্বকীয় ঝড় (Geomagnetic Storm) অর্থাৎ সৌরঝড় সৃষ্টি করতে পারে। এই সৌরঝড় পৃথিবীর আধুনিক সমাজের বিভিন্ন প্রযুক্তিকে চরমভাবে ক্ষতি করতে পারে। অরোরাল ইভেন্টের (মেরু প্রভার) কারণে পৃথিবীর পৃষ্ঠ বরাবর শক্তিশালী বিদ্যুৎ প্রবাহ হতে পারে যা বৈদ্যুতিক পাওয়ার গ্রিডগুলিকে ব্যাহত করে এবং তেল এবং গ্যাস পাইপলাইনের ক্ষয় করতে পারে। সৌর ঝড়ের সময় পৃথিবীর আয়নোস্ফিয়ারের পরিবর্তনের কারণে উচ্চ-ফ্রিকোয়েন্সি রেডিও যোগাযোগ এবং গ্লোবাল পজিশনিং সিস্টেম (জিপিএস) ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। সৌর প্রোটন দ্বারা ঘটিত পোলার ক্যাপ absorption-এর সময়, ট্রান্সপোলার ক্রসিং রুটে বাণিজ্যিক বিমানের সঙ্গে রেডিও যোগাযোগ বিচ্ছিন্ন হতে পারে। সূর্যের শক্তিশালী কণা গুলি মহাকাশযানের সংস্পর্শে আসার ফলে মহাকাশযানের ক্রিটিক্যাল ইলেকট্রনিক্সের, সৌর প্যানেলের, অপটিক্যাল ইমেজারের এবং স্টার ট্র্যাকারের ক্ষতি হতে পারে। মহাকাশের মানব এবং রোবোটিক অনুসন্ধানকারীরাও সৌর ঝড় দ্বারা প্রভাবিত হয়। গবেষণায় দেখা গেছে, সবচেয়ে খারাপ পরিস্থিতিতে, সৌর কণার সংস্পর্শে আসা মহাকাশচারীরা একটি ঘটনা শুরু হওয়ার কয়েক ঘন্টার মধ্যে তাদের অনুমোদিত এক্সপোজার সীমাতে পৌঁছে যেতে পারে।

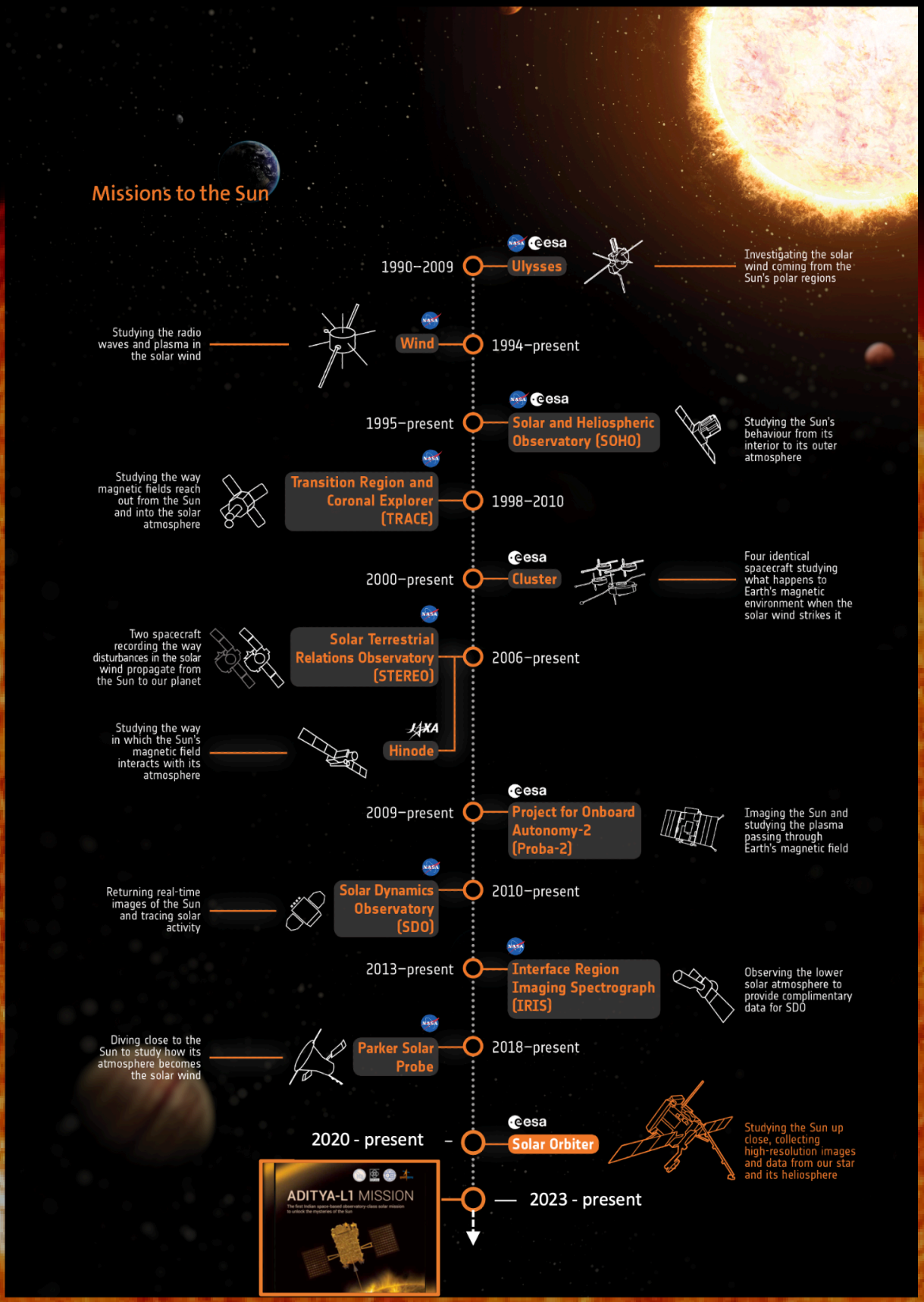
সূর্যের পর্যবেক্ষন:

সূর্য সর্বদা বৈজ্ঞানিক আবিষ্কার এবং অনুসন্ধানের বিষয় ছিল না। হাজার হাজার বছর ধরে, সূর্য সারা বিশ্বের সংস্কৃতিতে দেবতা, দেবী এবং জীবনের প্রতীক হিসাবে পরিচিত ছিল। ১৫০ খ্রিস্টপূর্বাব্দে, গ্রীক পণ্ডিত ক্লডিয়াস টলেমি সৌরজগতের একটি ভূকেন্দ্রিক মডেল তৈরি করেছিলেন যেখানে চাঁদ, গ্রহ এবং সূর্য পৃথিবীর চারপাশে ঘোরে। ১৬ শতকের আগে পোলিশ জ্যোতির্বিদ নিকোলাস কোপার্নিকাস গাণিতিক এবং বৈজ্ঞানিক যুক্তি ব্যবহার করে প্রমাণ করেছিলেন যে গ্রহগুলি সূর্যের চারদিকে ঘোরে। এই সূর্যকেন্দ্রিক মডেল আমরা আজও ব্যবহার করি। ১৭ শতকে, টেলিস্কোপ মানুষকে বিশদভাবে সূর্য পরীক্ষা করার সুযোগ এনে দেয়। এটির সাহায্যে প্রথমবার একটি পর্দায় সূর্যের বিশদে পর্যবেক্ষন করার জন্য একটি পরিষ্কার চিত্র প্রজেক্ট করা সম্ভব হয়েছিল। ইংরেজ বিজ্ঞানী স্যার আইজ্যাক নিউটন একটি টেলিস্কোপ এবং প্রিজম ব্যবহার করে প্রথম প্রমাণ করেছিলেন যে সূর্যের আলো আসলে সাতটি রঙের স্পেকট্রাম দিয়ে তৈরি।

১৮০০ সালে স্পেক্ট্রোস্কোপ নামক একটি অপটিক্যাল যন্ত্র দিয়ে প্রথমবার সূর্যের দৃশ্যমান আলো এবং অন্যান্য ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক রেডিয়েশনের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে আলাদা করা সম্ভব হয়েছিল। যেহেতু প্রতিটি গ্যাসীয় উপাদানের নিজস্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্যাটার্ন রয়েছে, তাই স্পেকট্রোস্কোপ-দিয়েই বিজ্ঞানীরা সূর্যের বায়ুমণ্ডলে গ্যাস শনাক্ত করতে সক্ষম হয়েছে। ১৮৬৮ সালে, ইংরেজ জ্যোতির্বিদ জোসেফ নরম্যান লকিয়ার স্পেক্ট্রোস্কোপের মাধ্যমে সূর্যের ইলেক্ট্রোম্যাগনেটিক স্পেকট্রাম অধ্যয়ন করে অনুমান করেন যে সূর্যের উপর একটি বিচ্ছিন্ন উপাদান রয়েছে এবং গ্রীক সূর্য দেবতা হেলিওসের নামানুসারে এর নামকরণ করেছিলেন হিলিয়াম।

পরবর্তী ৩০ বছরে, জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা এই উপসংহারে পৌঁছে ছিলেন যে সূর্যের একটি উত্তপ্ত, চাপযুক্ত কোর অঞ্চল রয়েছে যা পারমাণবিক ফিউশনের মাধ্যমে প্রচুর পরিমাণে শক্তি উত্পাদন করতে সক্ষম। বিংশ শতাব্দীর জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের উপরে বিশেষ টেলিস্কোপ পাঠানোর জন্য বেলুন এবং রকেট ব্যবহার করেন এবং পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের বাইরে থেকে তার প্রভাব ছাড়াই সূর্যকে পর্যবেক্ষন করেন।

সূর্য পর্যবেক্ষন করার জন্য প্রথম যখন মহাকাশযান উৎক্ষেপিত হয় তা হলো ২২ শে জুন ১৯৬০ সাল। তখন থেকে এখন পর্যন্ত সবমিলে মোট ২১ টি মহাকাশ অভিযান চালানো হয়। শুধুমাত্র সূর্য ও মহাকাশে তার প্রভাব অধ্যয়ন করা ছিল এই মহাকাশযানগুলির প্রধান উদ্দেশ্য। এদের মধ্যে ১১ টি মহাকাশযান এখনো সক্রিয় এবং তারা অনবরত সূর্যকে মহাকাশ থেকে পর্যবেক্ষন করে চলেছে।
গত ৩৩ (১৯৯০-present) বছর ধরে যে যে মহাকাশযান সূর্যকে অধ্যয়ন করার জন্য প্রেরিত হয়েছে তাদের সময়রেখা এবং মূল বৈজ্ঞানিক লক্ষ্য নিচে একটি Flowchart এর মাধ্যমে দেখানো হলো। এদের মধ্যে দুইটি অভিযান এখন আর সক্রিয় নেই।



চিত্র: ১৯৯০ থেকে এখন পর্যন্ত সূর্য এবং হেলিওস্ফিয়ার অধ্যয়নের জন্য উৎক্ষেপিত মহাকাশযানগুলির একটি সময়রেখা। ক্রেডিট: ESA/ATG medialab থেকে সংগৃহিত।

১৯৬০ সাল থেকে এখন পর্যন্ত যে যে মহাকাশ অভিযান কেবলমাত্র সূর্য ও তার প্রভাব পর্যবেক্ষন করার জন্য প্রেরণ করা হয়েছে তার একটি সংক্ষিপ্ত বর্ণনা নিচে দেওয়া হলো। এদের মধ্যে সবচেয়ে পুরোনো হলো SOLARD (SOLar RADiation)- 1 (১৯৬০-১৯৬১) এবং সবচেয়ে নতুন হলো Aditya -L1 যা ২০২৩ সালের সেপ্টেম্বর মাসে প্রেরণ করা হয়।

SOLRAD-1 ছিল প্রথম মহাকাশযান যা সূর্যকে অধ্যয়নের জন্য ডিজাইন করা হয় এবং ১৯৬০ সালে মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র এটি চালু করে। সেই দশকে, মার্কিন যুক্তরাষ্ট্র-এর ন্যাশনাল অ্যারোনটিকস অ্যান্ড স্পেস অ্যাডমিনিস্ট্রেশন (NASA) সূর্যকে প্রদক্ষিণ করতে এবং তার সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ করতে পাঁচটি পাইওনিয়ার উপগ্রহ পাঠায়। এই অভিযান ১৯৬১ সালে শেষ হয়।

১৯৬১ সালের ২৫ শে মার্চ Explorer-10 নামক একটি স্যাটেলাইট উৎক্ষেপণ করা হয় যা তিনটি ভিন্ন ম্যাগনেটোমিটার, সেইসাথে একটি প্লাজমা প্রোব বহন করে। এই যন্ত্রগুলি বিশেষত সৌরবায়ু বাহিত আন্তঃগ্রহীয় চৌম্বক ক্ষেএ ও সোলার প্লাজমা পরিমাপ করার জন্য ডিজাইন করা হয়। Explorer -10 সবথেকে প্রথম পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের বাইরে চৌম্বক ক্ষেত্রের উপস্থিতি জানিয়েছে এবং সৌর প্লাজমার পরিমাপ করেছে। দুর্ভাগ্যবশত এই অভিযানটি মাত্র ৫২ ঘন্টা সক্রিয় ছিল। ২৭ শে মার্চ ১৯৬১ সালে এর সাথে শেষ যোগাযোগ স্থাপন হয়।

নাসার OSO-7 সূর্য পর্যবেক্ষণকারী মিশনটি মহাজাগতিক এক্স-রশ্মি ও গামা রশ্মির উৎস অনুসন্ধানের জন্য তিনটি যন্ত্র - ১) X-ray proportional counters, ২) hard X-ray telescope এবং ৩) Gamma Ray Monitor নিয়ে ১৯৭১ সালে তার অভিযান শুরু করে। এটি প্রথম সূর্যের সোলার flare -এর সঙ্গে নির্গত গামা রশ্মি পর্যবেক্ষন করে। ১৯৭৪ সালের ৯ই জুলাই এর সাথে শেষ যোগাযোগ স্থাপন হয়।

১৯৭৩ সালে Skylab নামক একটি মার্কিন স্পেস স্টেশন আটটি পৃথক সৌর পর্যবেক্ষক যন্ত্র বহন করে এবং প্রথমবার সূর্যের coronal hole (সৌর কলঙ্ক) ও এক্স-রে উজ্জ্বল বিন্দু পর্যবেক্ষন করে। সৌর কলঙ্ক গুলি সূর্যের গা-এ অন্ধকার ক্ষতের মতো দেখায়। এক্স-রে উজ্জ্বল বিন্দুগুলি সূর্যের গা-এর ওপরে থাকা ছোট, স্বল্পস্থায়ী উজ্জ্বল অঞ্চল যা সবচেয়ে সহজে করোনাল hole-এ দেখা যায়। ১৯৭৯ সালের ১১ই জুলাই এটি তার কক্ষপথ থেকে বিচ্ছিন্ন হয়।

১৯৮০ সালে Solar Maximum Mission (Solarmax) নামে একটি মহাকাশযান বেশ কয়েকটি বৈজ্ঞানিক যন্ত্রের সাহায্যে প্রথমবার গামা রশ্মি, ultra-violet (UV) রশ্মি এবং Solar flare -এর সময় নির্গত হওয়া এক্স-রে সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ এবং solar flare -এর প্রকৃতির পর্যবেক্ষন করার কাজ শুরু করে। এই যন্ত্রগুলির মধ্যে ছিল আল্ট্রাভায়োলেট স্পেকট্রোমিটার এবং পোলারিমিটার (UVSP), অ্যাক্টিভ ক্যাভিটি রেডিওমিটার ইরেডিয়েন্স মনিটর (ACRIM), গামা-রে স্পেকট্রোমিটার (GRS), হার্ড এক্স-রে বার্স্ট স্পেকট্রোমিটার (HXRBS), নরম এক্স-রে পলিক্রোমেটর (XRP), হার্ড এক্স-রে ইমেজিং স্পেকট্রোমিটার (HXIS), এবং করোনাগ্রাফ পোলারিমিটার (CP)। ১৯৮৯ সালের ২রা ডিসেম্বর এই মহাকাশযানটির সাথে শেষ যোগযোগ স্থাপন করা হয়।

১৯৮৫ সালে Spacelab-2 নামক একটি মহাকাশযান সূর্যের ফটোস্ফিয়ার-এর চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তি, গঠন এবং বিবর্তন পর্যবেক্ষণ করার জন্য এবং ওই চৌম্বকীয় উপাদান ও অন্যান্য সৌর বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করার জন্য প্রেরণ করা হয়। এই মহাকাশযানটি সোলার অপটিক্যাল ইউনিভার্সাল পোলারিমিটার (SOUP), করোনাল হিলিয়াম অ্যাবন্ডেন্স স্পেসল্যাব এক্সপেরিমেন্ট (CHASE), হাই রেজোলিউশন টেলিস্কোপ এবং স্পেকট্রোগ্রাফ (HRTS) ও সোলার আল্ট্রাভায়োলেট স্পেকট্রাল ইরেডিয়েন্স মনিটর (SUSIM) সহ বেশ কয়েকটি সৌর যন্ত্র বহন করে। ১৯৯৮ সালের এপ্রিল মাসে এর সাথে শেষ যোগাযোগ স্থাপিত হয়।

১৯৯০ সালে যৌথ ইউরোপিয়ান স্পেস এজেন্সী (ESA) এবং ন্যাশনাল এরোনটিক্স এন্ড স্পেস অ্যাডমিনিস্ট্রেশন (NASA) দ্বারা পরিচালিত Ulysses স্যাটেলাইট উৎক্ষেপণ করা হয় যা ১৮ বছরেরও বেশি সময় ধরে সূর্যকে পর্যবেক্ষন করে। এই স্যাটেলাইট প্রোবটি তার প্রত্যাশিত জীবদ্দশায় চার গুণেরও বেশি দিন সক্রিয় থেকেছে এবং অনেক গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কার করেছে। এটি নয়টি পর্যবেক্ষন যন্ত্র বহন করেছিল যা সৌর বায়ুর প্লাজমা, আয়ন, চৌম্বক-ক্ষেত্র, এনার্জেটিক-কণা, লো-এনার্জি চার্জড পার্টিকেল কম্পোজিশন এবং সূর্য থেকে নির্গত এক্স-ray রশ্মির পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে। ইউলিসিসের প্রধান অনুসন্ধানগুলির মধ্যে অন্যতম হলো সূর্যের মেরুতে দুর্বল সৌর চৌম্বক ক্ষেত্রর উপস্থিতি নির্ধারণ, প্রতি ১১ বছরে সূর্যের চৌম্বক ক্ষেত্রর পরিবর্তন এবং সৌর বায়ুর প্রকৃতি পর্যবেক্ষন। এটি

প্রথম স্যাটেলাইট যা সূর্যের মেরু অঞ্চলের প্রকৃতি অনুসন্ধান করে। ৩০শে জুন ২০০৯ সালের পর থেকে এই মহাকাশযানটির সাথে আর যোগাযোগ হয়ে উঠেনি।

সৌর বায়ুর দীর্ঘমেয়াদি পরিমাপের জন্য ১৯৯৪ সালের ১লা নভেম্বর নাসার উদ্যোগে, Wind নামক একটি মহাকাশযান L1 ল্যাগ্রেঞ্জ বিন্দুর চারপাশে একটি কক্ষপথে স্থাপন করা হয়েছিল যা পৃথিবী থেকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের ২০০ গুণ দূরত্বে সূর্যের দিকে অবস্থিত। যার নাম হলো Halo Orbit. L1 ল্যাগ্রাঞ্জিয়ান পয়েন্ট হল পৃথিবী এবং সূর্যের মধ্যে একটি নিরপেক্ষ মাধ্যাকর্ষণ বিন্দু। এটি পৃথিবী থেকে প্রায় ১.৫ মিলিয়ন কিলোমিটার (৯০০,০০০ মাইল) দূরে অবস্থিত, যা চাঁদের চেয়ে প্রায় চার গুণ দূরে। এই Wind স্যাটেলাইট মিশনের প্রাথমিক উদ্দেশ্য হলো পৃথিবীর কাছাকাছি সৌর বায়ুর উপাদান, সৌর বায়ুর চৌম্বক ক্ষেত্র এবং পৃথিবীর magnetospheric ও ionospheric পরীক্ষা-নিরীক্ষার জন্য সৌর প্লাজমা ও সৌরবায়ুর এনার্জেটিক কণাগুলির সম্পূর্ণ ভাবে পর্যবেক্ষন করা। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয়ভাবে কার্য চালিয়ে যাচ্ছে।

১৯৯৫ সালের ডিসেম্বরে চালু করা হয়েছিল, যৌথ NASA-ESA দ্বারা পরিচালিত আরেকটি স্যাটেলাইট যা Solar & Heliospheric Observatory Mission (SOHO) নামে পরিচিত। এই স্যাটেলাইট এখনো সক্রিয় ভাবে সূর্যকে পর্যবেক্ষন করে চলেছে। SOHO এখনও পর্যন্ত সবচেয়ে দীর্ঘস্থায়ী সূর্য পর্যবেক্ষন উপগ্রহ যা সূর্যের কেন্দ্র, এর বায়ুমণ্ডল এবং সৌরবায়ুর সম্পর্কে অনেক গুরুত্বপূর্ণ তথ্য আবিষ্কার করতে সাহায্য করেছে। SOHO আমাদের গ্রহে মহাকাশ আবহাওয়ার প্রভাব পর্যবেক্ষণ করে এবং এটি সম্ভাব্য বিপজ্জনক সৌর ঝড়ের পূর্বাভাস দেওয়ার ক্ষেত্রে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। SOHO হল জ্যোতির্বিজ্ঞানের ইতিহাসে ধূমকেতুর সবচেয়ে বড় আবিষ্কারক, সূর্যের সাথে মুখোমুখি হওয়ার সময় ৩,০০০ টিরও বেশি ধূমকেতু এটি চিহ্নিত করেছে। এটি ১২-টি যন্ত্র বহণ করে যার মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো Extreme -UV Imaging Telescope (EIT) যা সূর্যের বায়ুমণ্ডল পর্যবেক্ষন করার জন্য, Michelson Doppler Imager (MDI) যা সূর্যের photosphere এর চৌম্বক-ক্ষেত্র পরিমাপ করার জন্য, Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO) যা করোনাল মাস এজেকশন এর মতো সূর্যের অগ্নুৎপাত পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয় আছে।

১৯৯৭ সালে NASA এর Advanced Composition Explorer (ACE) মহাকাশযান L1 ল্যাগ্রাঞ্জিয়ান পয়েন্টে সৌর বায়ু, আন্তঃগ্রহ, আন্তঃনাক্ষত্রিক এবং গ্যালাকটিক কণা সংগ্রহ এবং বিশ্লেষণ করার জন্য স্থাপন করা হয়। এটি magnetometer , spectrometer , এবং ইলেক্ট্রন, প্রোটন ও আলফা monitor নিয়ে মোট নয়টি পর্যবেক্ষক যন্ত্র বহণ করে। এটি এখনো সক্রিয় রয়েছে।

Transition region and coronal explorer (TRACE) স্যাটেলাইট অভিযানটি সূর্যের গতি-প্রক্রিয়া গভীরভাবে অনুসন্ধানের জন্য ১৯৯৮ সালে শুরু করা হয়। এটি সূর্যের উপর সূক্ষ্ম পরিমাপের চৌম্বকীয় ক্ষেত্র এবং সংশ্লিষ্ট বৃহৎ মাপের প্লাজমা কাঠামোর মধ্যে সংযোগ অন্বেষণ করে আমাদের গতিশীল সূর্যের কার্যকলাপকে গভীরভাবে বুঝতে সহায়তা করে। TRACE মিশনের আরেকটি প্রধান উদ্দেশ্য ছিল সৌর পৃষ্ঠের চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সৌর বায়ুমণ্ডল উত্তাপ এবং কাঠামো পরিবর্তনের মধ্যে সম্পর্ক খোঁজা। TRACE ডেটা আমাদেরকে সৌর পৃষ্ঠের চৌম্বকীয় আকারের পরিবর্তনের হার, সেইসাথে স্থানীয় চৌম্বকীয় পুনর্গঠন এবং পুনঃসংযোগ প্রক্রিয়ার প্রকৃতি নির্ধারণ করতে সাহায্য করে। সালের পর থেকে এই যানটির সাথে আর যোগাযোগ করা সম্ভব হয় নি।

Cluster মিশন চারটি মহাকাশযান দিয়ে তৈরী একটি constellation (তারামণ্ডল) যা ESA-এর উদ্যোগে ২০০০ সালে শুরু হয় এবং যা এখনো সক্রিয় রয়েছে। সৌর বায়ু কীভাবে আমাদের গ্রহকে তিন মাত্রায় প্রভাবিত করে সে সম্পর্কে তারা সবচেয়ে বিস্তারিত তথ্য প্রদান করে। সূর্য ও পৃথিবীর যোগাযোগ অনুসন্ধানের জন্য এই ক্লাস্টার মহাকাশযান আমাদের গ্রহের চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে এবং বাইরে অনবরত যাতায়াত করে চলে

২০০২ সালে উৎক্ষেপিত Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscope Imager (RHESSI) মহাকাশযানটির প্রধান উদ্দেশ্য ছিল হার্ড এক্স-রশ্মি এবং গামা রশ্মির উচ্চ-রেজোলিউশন ইমেজিংকে উচ্চ-রেজোলিউশন স্পেকট্রোস্কোপির সাথে একত্রিত করে সোলার ফ্লেয়ার (flare) এর সময় নির্গত শক্তির মুক্তি ও শক্তিশালী কণার ত্বরণের মৌলিক পদার্থবিদ্যা অন্বেষণ করা। এই ধরনের তথ্য সোলার flare এবং করোনাল মাস এজেকশন এর সাথে জড়িত প্রক্রিয়াগুলির সম্পর্কে আমাদের আরো গভীরভাবে জানতে সাহায্য করে। এই অতি

শক্তিশালী সৌর বিস্ফোরক ঘটনাগুলি মহাকাশ আবহাওয়া পরিবর্তনের সবচেয়ে বড় দায়ী। ২০১৮ সালে এই মিশনটি সমাপ্ত হয়েছে।

২৩শে সেপ্টেম্বর, ২০০৬ -এ জাপানের কাগোশিমা থেকে জাপান এরোস্পেস এক্সপ্লোরেশন এজেন্সী (JAXA) পরিচালিত Hinode মহাকাশযান উৎক্ষেপণ করা হয়। এর সোলার অপটিক্যাল টেলিস্কোপ হল প্রথম মহাকাশবাহিত যন্ত্র যা photosphere - এর চৌম্বক ক্ষেত্রের শক্তি এবং দিক পরিমাপ করে। এটি পৃথিবী থেকে প্রায় ৪০০ মাইল উচ্চতায় একটি Sun–Synchronas কক্ষপথে রাখা হয়। এই কক্ষপথ Hinode মহাকাশযানটিকে নয় মাস অবিচ্ছিন্নভাবে সূর্যকে পর্যবেক্ষন করা সুযোগ করে দেয়। এই মিশনটি সৌর বায়ুমণ্ডলে অগ্ন্যুৎপাতের কারণ বোঝার জন্য এবং তার সাথে corona অঞ্চলের তীব্র তাপমাত্রার সম্পর্ক খোঁজার জন্য দুটি বিশেষ যন্ত্র বহণ করে যা হলো EUV imaging spectrometer (EIS), and X-ray/EUV telescope (XRT)। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয় আছে।

নাসার সোলার টেরেস্ট্রিয়াল প্রোবস প্রোগ্রামের (এসটিপি) একটি গুরুত্বপূর্ণ অভিযান হলো যমজ দুইটি মহাকাশযান -- Solar TErrestrial RElations Observatory (STEREO A & B) যা একসাথে ২০০৬ সালে শুরু হয়েছিল। এই দুটি প্রায় অভিন্ন মহাকাশযানের একটিকে তার কক্ষপথে পৃথিবীর থেকে এগিয়ে, অন্যটিকে পিছনে রাখা হয় যাতে তা দুটি অনুকূল অবস্থান থেকে সূর্যের ও সৌরবায়ুর স্টিরিওস্কোপিক পরিমাপ প্রদান করতে পারে। যমজ দুটি মহাকাশযানের প্রতিটি একটি Extreme ultraviolet imager, দুটি white-light coronagraphs এবং একটি heliospheric imager যন্ত্র বহণ করে যা করোনাল মাস এজেকশন নামক সূর্যের অগ্ন্যুৎপাতের ত্রিমাত্রিক বিবর্তন এবং তার সৌর পৃষ্ঠে জন্ম, করোনা এবং আন্তঃগ্রহের মাধ্যমে তার বিস্তার ও পৃথিবীতে তার চূড়ান্ত প্রভাব অধ্যয়ন করতে সাহায্য করে। এছাড়াও মহাকাশযানগুলি সূর্য থেকে পৃথিবীর কক্ষপথে ভ্রমণকারী রেডিও ব্যাঘাতের প্রজন্ম এবং বিবর্তনের অনুসন্ধান করার জন্য একটি করে আন্তঃগ্রহীয় রেডিও বিস্ফোরণ ট্র্যাকার বহণ করে। সৌরবায়ুর উপাদান, শক্তিশালী কণা (সোলার এনার্জেটিক পার্টিকেল), আয়ন এবং ইলেকট্রনের বৈশিষ্ট্য এবং স্থানীয় ভেক্টর চৌম্বক ক্ষেত্রের নমুনা সংগ্রহ করার জন্য সাতটি যন্ত্রবহনকারী In-Situ Measurements of Particles And CME Transients (IMPACT) নামক একটি স্যুট বহণ করে। সৌরবায়ুর প্রোটন, আলফা-কণা, heavy -আয়ন পরিমাপকরার জন্য Plasma And Suprathermal Ion Composition (Plastic) নামক একটি যন্ত্র বহণ করে। ২০১২ সালে, STEREO একটি চরম সৌর ঝড়ের ডেটা ক্যাপচার করে যা গত ১৫০ বছরে দেখা কিছু সৌরঝড়ের চেয়েও বেশি শক্তিশালী। দুর্ভাগ্যবশত STEREO B-মহাকাশযানটির সাথে ১৭ ই অক্টোবর, ২০১৮ সালের পর থেকে আর যোগাযোগ করা সম্ভব হয়নি। কিন্তু STEREO A মিশনটি এখনো সক্রিয় রয়েছে।

PROBA-2 হল ESA এর উদ্যোগে তৈরী একটি মাইক্রো-স্যাটেলাইট যা ২রা নভেম্বর, ২০০৯-এ উৎক্ষেপণ করা হয়। PROBA এর অর্থ হল 'PRoject for Onboard Autonomy', যা ESA-এর ইন-অরবিট টেকনোলজি ডেমোনস্ট্রেশন প্রোগ্রামের অংশ। PROBA-2 -এ সৌর পর্যবেক্ষণের জন্য দুটি যন্ত্র (SWAP এবং LYRA) এবং মহাকাশ আবহাওয়া নিরীক্ষণ করার জন্য দুটি যন্ত্র (DSLP এবং TPMU) বহণ করে। এই যন্ত্রগুলির সাহায্যে আমরা সূর্যের অগ্ন্যুৎপাত শনাক্ত এবং অধ্যয়ন করি যা মহাকাশের আবহাওয়া নিয়ন্ত্রণ করে। বিশেষত, PROBA-2 মিশনের লক্ষ্য হল করোনাল মাস ইজেকশন, চরম অতি-বেগুনী তরঙ্গ এবং সোলার flare ঘটনাগুলির উৎপত্তি এবং বিবর্তন অধ্যয়ন করা। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয়ভাবে কার্য চালিয়ে যাচ্ছে।

নাসার Living With a Star প্রোগ্রামের প্রথম অভিযান হলো Solar Dynamic Observatory যা ২০১০ সালে শুরু হয়। এই অভিযানের উদ্দেশ্য হলো সূর্যের পরিবর্তনশীলতার কারণ ও পৃথিবীতে তার প্রভাব অনুসন্ধান, সূর্যের অভ্যন্তর, বায়ুমণ্ডল, চৌম্বক ক্ষেত্র এবং সৌরশক্তি পর্যবেক্ষণ করে সূর্যের কার্যকলাপ এবং মহাকাশের আবহাওয়ায় তার প্রভাব অধ্যয়ন করা। SDO ২০১০ সাল থেকে অনবরত সূর্যকে বিভিন্ন যন্ত্র দ্বারা পর্যবেক্ষন করে চলেছে এবং সূর্য সম্পর্কিত অসংখ্য নতুন তথ্য আবিষ্কার করতে সহায়তা করেছে। এর Atmospheric Imaging Assembly (AIA), EUV Variability Experiment (EVE), Helioseismic and Magnetic Imager experiment গুলি বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘে সূর্যের বায়ুমণ্ডল ও সৌর পৃষ্ঠের চৌম্বক ক্ষেত্র পরিমাপ করে এবং কিভাবে সূর্যের চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি ও গঠন হয়, কিভাবে সঞ্চিত চৌম্বকীয় শক্তি সৌর বায়ু, শক্তিশালী কণা ও সৌর বিকিরণের মাধ্যমে হেলিওস্ফিয়ার এবং জিওস্পেসে সঞ্চালিত হয় তা অনুধাবন করে। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয়ভাবে কার্য চালিয়ে যাচ্ছে।

২০১৩ সালে শুরু নাসার Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) অভিযান সূর্য ও পৃথিবীর সংযোগ অধ্যয়নে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। IRIS উচ্চ বিশ্লেষণ ক্ষমতায় সূর্যের chromosphere ও

ট্রানজিশন রিজিয়নের অতি-বেগুনী স্পেক্ট্রা এবং ছবি সংগ্রহ করার মাধ্যমে corona এবং হেলিওস্ফিয়ারে সৌরশক্তি ও সূর্যের ভর পরিবহন চিহ্নিত করে। সূর্যের chromosphere ও তার বাইরের বায়ুমণ্ডলে কোন ধরণের সৌরশক্তি প্রাধান্য পায়v,chromosphere কিভাবে corona এবং হেলিওস্ফিয়ারে সৌরভর ও শক্তি সরবরাহ নিয়ন্ত্রণ করে, এবং সৌর চৌম্বক ক্ষেত্র কিভাবে সূর্য থেকে বের হয়ে সোলার flare এবং করোনাল মাস এজেক্শনের মতো বিস্ফোরক ঘটনা সৃষ্টিতে সহায়তা করে তা অনুসন্ধান করা এই মহাকাশ অভিযানের প্রধান উদ্দেশ্য। এই অভিযানটি এখনো সক্রিয় আছে।

২০১৮ সালে আরম্ভ নাসার Parker Solar Probe (PSP) অভিযান প্রথম "সূর্যকে স্পর্শ করার" সাফল্য লাভ করেছে। এই মহাকাশযানটি আগের যেকোনো মহাকাশযানের তুলনায় সূর্যের সাত গুণ বেশি কাছাকাছি পৌঁছতে সক্ষম হয়েছে। আধুনিক এই যানটি আরম্ভের আগামী সাত বছরের মধ্যে, সূর্যের চারপাশে মোট ২৪ টি প্রদক্ষিণ সম্পূর্ণ করবে। সূর্যের ভয়ঙ্কর তাপ ও বিকিরণের সাথে মোকাবিলা করে এটি মানবজাতিকে প্রথম একটি নক্ষত্রের বায়ুমণ্ডলের নমুনা সংগ্রহ করার সুযোগ করে দিয়েছে। সূর্যের বায়ুমণ্ডলের সবচেয়ে বাইরের স্তর করোনার নমুনা সংগ্রহ করে এই যানটি সৌরবায়ুর উৎস ও বিবর্তন সম্পর্কে আমাদের আরো গভীরভাবে জানতে সাহায্য করে। মহাকাশের আবহাওয়া, যা পৃথিবীর জীবন এবং প্রযুক্তিকে প্রভাবিত করে, তার পরিবর্তনের পূর্বাভাস দেওয়ার ক্ষেত্রে এই মহাকাশযানের অবদান গুরুত্বপূর্ণ। ২০২১ সালের ১৪ই ডিসেম্বর এই মহাকাশযানটি সর্বপ্রথম সূর্যের কোরোনার মধ্যে গিয়ে সৌরকণা ও চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিমাপ করে যা পৃথিবীর ইতিহাসে ঘটে যাওয়া প্রথম ঘটনা। Fields Experiment (FIELDS), Integrated Science Investigation of the Sun (IS⊙IS), Wide Field Imager for Solar Probe (WISPR), ও Solar Wind Electrons Alphas and Protons (SWEAP) নামক চারটি বিশেষ যন্ত্রের সাহায্যে এটি যে যে বিশেষ বৈজ্ঞানিক প্রশ্ন অনুসন্ধান করে চলেছে সেগুলি হলো - ১) কেন করোনা সূর্যের পৃষ্ঠের (ফটোস্ফিয়ার) চেয়ে বেশি গরম, ২) কিভাবে সৌর বায়ু ত্বরান্বিত হয় ৩) উচ্চ শক্তির সৌর কণার উৎস কি। এই অভিযানটির নামকরণ ডাঃ ইউজিন এন. পার্কারের নামানুসারে হয় যিনি সূর্য সম্পর্কে আমাদের আধুনিক বোধগম্যতার ভিত্তি স্থাপন করেন। ডাঃ পার্কার ১৯৫৮ সালে প্রথম সৌরবায়ুর অস্তিত্বের প্রস্তাব করেন, যা সূর্য থেকে সর্বদা নির্গত চার্জযুক্ত কণার একটি স্রোত। এই মিশনটি এখন তার সক্রিয় পর্যায়ে রয়েছে।

সূর্যের নিকট থেকে এর বায়ুমণ্ডল, সৌর বায়ু এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের চিত্র ও তথ্য সংগ্রহ এবং সূর্যের উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর কাছাকাছি অঞ্চল পর্যবেক্ষন করার জন্য ২০২০ সালে Solar Orbiter মিশন শুরু করা হয় যা ESA এবং NASA-এর একটি যৌথ মিশন। এর কক্ষপথ হলো উপবৃত্তাকার যার নতি ০° - ৩০° (সৌর বিষুবরেখার সাপেক্ষে) থেকে ৩৪° পর্যন্ত বিবর্তিত হতে পারে। ২০২৫ সালের মধ্যে এই মহাকাশযানটি সূর্যের সর্বনিম্ন ০.২৮ AU (৪২.৭ মিলিয়ন কিলোমিটার) দূরত্বে পৌঁছবে। Solar Orbiter এর ছয়টি রিমোট সেন্সিং যন্ত্র (যা দূর থেকে সূর্য কে পর্যবেক্ষন করে) এবং চার সেট ইন সিটু যন্ত্রের (যা উপযুক্ত স্থানে উপস্থিত থেকে সরাসরি সৌরবায়ুর নমুনা সংগ্রহ করে) পর্যবেক্ষণ একত্রিত করে, বিজ্ঞানীরা সৌরবিজ্ঞান ও সৌরজগত সম্পর্কিত যেসব প্রশ্নের উত্তর খুঁজে চলেছেন তা হলো কিসের কারণে সূর্যের ১১ বছরের সৌরচক্রে চৌম্বকীয় কার্যকলাপের উত্থান এবং হ্রাস ঘটে, কোন পদ্ধতিতে বায়ুমণ্ডলের উপরের স্তর, করোনা, লক্ষ লক্ষ ডিগ্রি সেলসিয়াস পর্যন্ত উত্তপ্ত হয়, সৌর বায়ুর প্রজন্মকে কে পরিচালিত করে, প্রতি সেকেন্ডে শত শত কিলোমিটার বেগে সৌর বায়ু কোন পদ্ধতিতে ত্বরান্বিত হয়, এবং তা কিভাবে আমাদের গ্রহকে প্রভাবিত করে। Solar Orbiter -এর বৈজ্ঞানিক যন্ত্রগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো সূর্যের করোনার উচ্চ-রেজোলিউশনের চিত্র সংগ্রহ করা জন্যে ইমেজিং স্পেক্টোপোলারিমিটার (EUI), সূর্যের বায়ুমণ্ডলের অতি-বেগুনী রশ্মিতে চিত্র সংগ্রহ করা জন্য সোলার ইমেজিং এক্সট্রিম-আলট্রাভায়োলেট স্পেক্টোমিটার (SPICE), সূর্য পৃষ্ঠের চৌম্বক ক্ষেত্রের চিত্র সংগ্রহ করা জন্য সোলার অরবিটার পোলারিমেট্রিক এবং হেলিওমেগনেটোস্ফেয়ারিক ইমেজার (PHI), সূর্য থেকে নির্গত সৌর বাতাসের গতিবেগ, ঘনত্ব এবং তাপমাত্রা পরিমাপ করা জন্য সোলার উইন্ড আনালাইজার (SWA) এবং সূর্যের চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র এবং প্লাজমা তরঙ্গ পরিমাপ করা জন্য রেডিও এবং প্লাজমা ওয়েভেস ইন-সিটু এনালাইজার (RPW)। এই মিশনটি এখন তার সক্রিয় পর্যায়ে রয়েছে।

২০২৩ সালের সেপ্টেম্বর মাসে উৎক্ষেপিত Aditya -L1 মিশন ভারতবর্ষের প্রথম সৌর পর্যবেক্ষণকারী মহাকাশ অভিযান। এই মহাকাশযানটি সূর্য ও পৃথিবীর মাঝে অবস্থিত লাগ্র্যাঞ্জ-১ বিন্দুতে পৌঁছনোর উদ্দেশ্যে যাত্রা শুরু করে ২রা সেপ্টেম্বর। এটিকে সূর্যের photosphere, chromosphere, corona ও সৌরবায়ু পর্যবেক্ষনের উদ্দেশ্যে প্রেরণ করা হয়। সাতটি যন্ত্রের উপযোগিতায় এটি সূর্যের বায়ুমণ্ডল ও অগ্নুৎপাত ছাড়াও সূর্য থেকে আসা সৌরকণিকা, বায়ু, সৌরভর, রশ্মি ও চৌম্বক ক্ষেত্রে পর্যবেক্ষন করবে। ভারতের মহাকাশ গবেষণা কেন্দ্র ইন্ডিয়ান স্পেস রিসার্চ অর্গানিসিয়েশন (ISRO) ছাড়াও আহমেদাবাদের ফিজিক্যাল রিসার্চ ইনস্টিটিউট (PRL), ব্যাঙ্গালুরুর ইন্ডিয়ান

ইনস্টিটিউট অফ অস্ট্রোফিজিক্স (IIA) ও পুনের ইন্টার ইউনিভার্সিটি ফর অ্যাস্ট্রোনমি এন্ড অস্ট্রোফিজিক্স (IUCAA) এই মহাকাশযানের বিভিন্ন যন্ত্র নির্মাণ করেছে। এছাড়াও ভারতের বিভিন্ন রিসার্চ ইনস্টিটিউট ও বিশ্ববিদ্যালয়ের বৈজ্ঞানিক মননশীলতার এই অভিযানে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে। এই অভিযানের প্রধান উদ্দেশ্যগুলি হলো ১) সূর্যের করোনার অত্যধিক তাপমাত্রার কারণ অনুসন্ধান, ২) কোরোনাল মাস এজেকশন এর মতো সৌর অগ্নুতপাতের উৎস ও তাদের প্রবাহ অনুসন্ধান, ৩) সৌরবায়ুর ত্বরণ ও মহাকাশে তার প্রবাহের প্রক্রিয়া অনুসন্ধান, ও ৪) সূর্যের বায়ুমণ্ডলের গতিময়তার কারণ অনুসন্ধান। এই অভিযানের একটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট হলো কোরোনাগ্রাফের মাধ্যমে সূর্যপৃষ্ঠের অত্যন্ত কাছ থেকে (সূর্যের ব্যাসার্ধের ১.০৫ গুণ দূরের অংশ থেকে) কোরোনাল মাস এজেকশনের উৎস পর্যবেক্ষন করা যা তাদের প্রাথমিক ত্বরণ সম্পর্কে ধারণা দিতে পারে। Aditya-L1 মিশনের সাতটি বৈজ্ঞানিক যন্ত্র হলো ১) visible emission line coronagraph (VELC) যা করোনা থেকে আগত দৃশ্যমান আলোকে পর্যবেক্ষন করবে, ২) Solar Ultra violet imaging telescope (SUIT) যা সূর্যের photosphere ও chromosphere থেকে আগত অতি-বেগুনী রশ্মি পর্যবেক্ষন করবে, ৩) Aditya Solar wind particle experiment (ASPEX) ও ৪) Plasma analyser package for Aditya (PAPA) যা সৌরবায়ুর প্রোটন, ইলেক্ট্রন ও প্লাজমা পর্যবেক্ষন করবে, ৫) Solar low energy X-ray স্পেকট্রমিটার (SoLEXS) ও ৬) high energy L1 orbiting X-ray spectrometer (HEL1OS) যা সূর্য থেকে আগত নিম্ন ও উচ্চ শক্তির X-ray রশ্মি অনুসন্ধান করবে, ৭) magnetometer (MAG) যা সৌরবায়ু দ্বারা বাহিত সূর্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে পরিমাপ করবে। এই মহাকাশযানটি তার উৎক্ষেপণের চার মাস পর লাগ্র্যাঞ্জ-১ বিন্দুকে ঘিরে অবস্থিত halo orbit কক্ষপথে পৌঁছবে ও একটানা সূর্যকে পর্যবেক্ষন করা শুরু করবে।

এই পর্যন্ত আমরা অতীত এবং সক্রিয় সৌরাভিযান নিয়ে আলোচনা করেছি। কিছু গুরুত্বপূর্ণ সৌর পর্যবেক্ষনকারি মিশন যা অদূর ভবিষ্যতে বিভিন্ন উল্লেখযোগ্য সংস্থা যেমন NASA, ESA, JAXA দ্বারা চালিত হবে তাদের মধ্যে Polarimeter to UNify the Corona and Heliosphere (PUNCH), Proba-3, Smile, Multi-slit Solar Explorar (MUSE), HelioSwarm, এবং Solar-C হলো উল্লেখযোগ্য।

আধুনিক প্রযুক্তিবিদ্যা মহাকাশ আবহাওয়ার পরিবর্তনের ওপরে খুবই নির্ভরশীল, এবং সৌরজগতে সূর্য হলো মহাকাশ আবহাওয়ার একমাত্র প্রধান চালক। তাই সূর্যের বৈজ্ঞানিক অনুসন্ধানে সূর্য ও তার প্রভাবের একটানা পর্যবেক্ষনের খুবই প্রয়োজন। এই অনুসন্ধান থেকে সূর্যের কার্যকলাপের ভবিষ্যৎবাণী করা সম্ভব যা মানবজাতিকে মহাকাশ আবহাওয়ার চরম পরিস্থিতি থেকে রক্ষা করতে পারে।