मराठी विज्ञान परिषद

आठवे मराठी विज्ञान संमेलन

अध्यक्ष

डॉ. जयंत विष्णू नारळीकर

प्राध्यापक, टाटा इंस्टिट्यूट ऑफ फंडामेंटल रिसर्च

मुंबई

अणू आणि विश्व

[अध्यक्षीय भाषण]

●

कला, वाणिज्य विज्ञान महाविद्यालय

जालना

१७ नोव्हेंबर १९७३

– अनुक्रम –

प्रास्ताविक	...	...	...	५
अणूपासून विश्वाकडे	...	...	...	६
विश्वरूपदर्शन	...	...	...	६
सूर्यतेजाचे रहस्य	...	...	...	७
खगोलशास्त्रातले कूटप्रश्न	...	...	...	८
रात्र का पडते ?	...	...	...	८
पृथ्वीचे परिवलन	...	...	...	९
माखचा सिद्धांत	...	...	...	१०
होगार्थचे संशोधन	...	...	...	११
विश्वापासून अणूकडे	...	...	...	१२

अणू आणि विश्व

आठवे मराठी विज्ञान संमेलन, जालना

१७ नोव्हेंबर १९७३

अध्यक्षीय भाषण

डॉ. जयंत विष्णू नारळीकर

प्रास्ताविक

आज विज्ञानाचा प्रसार इतक्या वेगवेगळ्या दिशांनी झाला आहे की त्या सर्वांचा आढावा घेताना तज्ञांची सुद्धा मति कुंठित होते. नव्या नव्या साधनांनी जगाच्या ज्ञान-भांडाराची वेगाने वाढ होत आहे, पण या स्पेशलायझेशनच्या जमान्यात तथाकथित स्पेशालिस्टने एखाद्या संकुचित विषयाचा अतिशय गहन अभ्यास केलेला असतो. त्यामुळे स्वतःच्या विषयाची माहिती सामान्य माणसाला सांगणे त्याला दिवसे-दिवस जास्तच अवघड जात आहे. तरीपण मला असे वाटते की सध्या शास्त्रीय संशोधनाचे प्रवाह कोणत्या दिशेने जात आहेत याची माहिती थोड्या प्रमाणातच का होईना पण सामान्य माणसाकडे पोचवणे शक्य आहे. त्याप्रमाणे शास्त्रज्ञांनी प्रयत्न केल्यास विज्ञानाच्या जगात घडणाऱ्या घटना आणि त्यातून वेळोवेळी निर्माण होणारी खळबळ, यांची सर्वसाधारण माणसाला थोडी कल्पना येईल. आज याच हेतूने मी आपल्यापुढे बोलण्यास उभा आहे आणि ते पण अशाच विषयावर की ज्याच्यात जवळ जवळ गेले एक तप माझे संशोधन चालू आहे.

१९६१ च्या उन्हाळ्यात इटलीमध्ये कोमो सरोवराकाठी व्हरेन्ना नावाच्या एका लहानशा गावी गुरुत्वाकर्षणावर भरलेल्या एनरिको फर्मी समरस्कूल (Enrico Fermi Summer School) मध्ये मी विद्यार्थी म्हणून गेलो होतो. तेथे गुरुत्वाकर्षणावर अनेक तज्ञांची भाषणे झाली. माझ्या दृष्टीने त्यातील बहुतेक भाषणे श्रवणीय असली तरी फारशी स्फूर्तिदायक नव्हती. याला एकमेव अपवाद म्हणजे लंडनच्या प्रोफेसर हरमन बॉण्डी (Hermann Bondi) यांचे भाषण. त्यांत आपल्या लंडनमधील एक सहव्यवसायी प्रोफेसर मकरे (Macrea) यांच्या होगार्थ (Hogarth) नावाच्या एका विद्यार्थ्याच्या संशोधनाची त्यानी चर्चा केली. हे संशोधन अतिशय अभिनव स्वरूपाचे होते. त्याचे वर्णन मी पुढे करणार आहे. तूर्त फक्त त्याचा सारांश सांगतो. तो असा की विद्युत् चुंबकीय शास्त्रात केलेल्या प्रयोगाचा निकाल फक्त प्रयोगाच्या उपकरणावर, आसपासच्या वस्तुस्थितीवर आणि प्रयोगाच्या सुरवातीवरच अवलंबून नसतो तर त्याशिवाय तो विश्वाच्या रचनेवरसुद्धा अवलंबून असतो. दूर अंतरावर, आपल्या नजरेपलीकडे असलेल्या ताऱ्यांवर, तारका-विश्वांवर (galaxies) आणि अंतराळातील परिस्थितीवर त्या प्रयोगाचे भवितव्य अवलंबून असते हा सिद्धांत ऐकून सामान्य माणसाला असे वाटण्याचा संभव आहे की या मतप्रणालीत आणि ग्रहांच्या आधारावर भविष्य वर्तवणाऱ्या फलज्योतिषांच्या पद्धतीत बरेच साम्य आहे. हा गैरसमज मी सर्वप्रथम दूर करू इच्छितो. होगार्थच्या सिद्धांताचा फलज्योतिषाशी काडीमात्रहि संबंध नाही. होगार्थचा सिद्धांत शास्त्रीय नियमांवर आधारलेला असून त्याला गणिताचा भरपूर पाठिंबा आहे.

होगार्थचा सिद्धांत विद्युत्चुंबकीय शास्त्रापर्यंत मर्यादित असला तरी व्यापक अर्थाने त्याचा विज्ञानाच्या इतर शाखांवर

देखील परिणाम होतो. हे परिणाम विज्ञानाच्या मूलभूत तत्त्वांशी संबंधित असल्यामुळे ते कोणत्या स्वरूपाचे असतील त्याबद्दल माझ्या मनात जिज्ञासा उत्पन्न झाली, आणि माझ्या संशोधनाला एक वेगळीच दिशा लाभली. सुदैवाने माझे केंब्रिजमधले मार्गदर्शक प्रोफेसर फ्रेड हॉयेल (Fred Hoyle) याना सुद्धा या कल्पना–त्या वास्तवशास्त्राच्या प्रमुख प्रवाहाच्या उलट असूनही–आकर्षक वाटल्या. दुसऱ्या कोणा कट्टर मतप्रणालीच्या मार्गदर्शकाने आपल्या विद्यार्थ्यास या दिशेने जाण्यास प्रोत्साहन दिले नसते. आज मी आपल्या समोर मांडत असलेले विचार फ्रेड हॉयेल बरोबर केलेल्या संशोधनावर आधारलेले आहेत, आणि ते नेहमीच्या मतप्रणालीपेक्षा किती वेगळे आहेत हे मी आपणाला दाखवू इच्छितो.

अणूपासून विश्वाकडे

नेहमीची मतप्रणाली म्हणजे कोणती? या मतप्रणाली-प्रमाणे विज्ञानाचे मूळ नियम आणि प्रयोग शाळेतील वस्तुस्थिती (यामध्ये प्रयोगाची सामग्री, त्याची सुरवात कशी केली, इत्यादि माहिती अंतर्भूत असते) यांच्यावरच प्रयोगाचा निकाल अवलंबून असतो. आपण एक सोपेच चेंडूफेकीचे उदाहरण घेऊ. हवेत फेकलेला चेंडू किती लांब जाईल आणि किती वेळाने जमिनीवर येईल? या प्रश्नाचे उत्तर द्यायला एक तर गुरुत्वाकर्षणाचा नियम माहीत असणे जरूर आहे. त्याशिवाय तो चेंडू किती वेगाने कोणत्या दिशेने फेकला आणि त्याच्यावर हवेचा प्रतिकार कितपत होतो ही माहिती पाहिजे. आयझक न्यूटन (Isaac Newton) पासून हा दृष्टिकोन शास्त्रज्ञांना लाभला. प्रथम विज्ञानाचा नियम प्रतिपादित करायचा आणि मग गणिताच्या साहाय्याने त्या नियमावर आधारलेल्या प्रयोगाचे भवितव्य ठरवायचे. त्याप्रमाणे निश्चितपणे प्रयोगाचा निकाल लागल्यास 'नियमात अजूनपर्यंत काही चूक आढळली नाही' असा निष्कर्ष काढायचा, आणि तोच नियम आणखी प्रगल्भ प्रयोगासाठी वापरायचा. प्रयोगाचा निकाल अनुकूल असला तर नियम खरा ठरत नाही; परंतु निकाल प्रतिकूल असल्यास तो चूक मात्र ठरतो! अशा तऱ्हेने तावून सुलाखून आजवर चूक न ठरलेल्या नियमांवर साहजिकच शास्त्रज्ञ जास्त विश्वास टाकतात. ज्या नियमांची परीक्षा प्रयोगशाळेतील अणू आणि मूलकण (elementary particles) यावर यशस्वी झाली तेच नियम त्याहून अधिक अवघड दिव्यातून पार पडतील असा शास्त्रज्ञांचा विश्वास असतो. अशी दिव्ये खगोलशास्त्रात आढळणाऱ्या आत्यंतिक परिस्थितीत (extreme conditions) सापडतात. पृथ्वीवर राहून कल्पना येणार नाही अशा चित्रविचित्र गोष्टी आपल्या विश्वात आहेत. अणू पासून विश्वाकडे ही झेप केवढी मोठी आहे याची मी आपणाला थोडी कल्पना देऊ इच्छितो. 'जे नियम अणूला लागू पडतात तेच विश्वाला देखील लागू पडतील', हे विधान किती धाडसाचे आहे याची पण आपणाला थोडी कल्पना येईल.

विश्वरूपदर्शन

आपले विश्व किती विशाल आहे? याची कल्पना येण्या-साठी आपण सूर्यमालेपासून सुरवात करू. सूर्याभोवती फिरणाऱ्या अनेक ग्रहांपैकी आपली पृथ्वी एक आहे. पृथ्वीचा परीघ जवळ जवळ ४०,००० किलोमीटर आहे. आपला अगदी जवळचा शेजारी चन्द्र साधारण याच्या दसपट अंतरावर आहे. विज्ञान आणि तंत्रशास्त्राच्या मदतीने मानवाला नुकतीच चन्द्रावर स्वारी करता आली. हे शक्य होईल याची कल्पनासुद्धा गेल्या पिढीत करता आली नव्हती; पण खगोलशास्त्राच्या दृष्टीने चन्द्रावर जाणे म्हणजे घराचा उंबरठा ओलांडून जाण्यासारखे आहे. चन्द्रापेक्षा कितीतरी दूर खगोलशास्त्राने मजल मारली आहे. सूर्य हा सर्वात जवळचा तारा सुद्धा आपल्यापासून पंधरा कोटी किलोमीटरवर आहे. चन्द्राप्रमाणे सूर्यावर स्वारी करणे निश्चितपणे अशक्य आहे; परंतु आपल्या जवळच्या ग्रहावर–मंगळावर आणि शुक्रावर–पाऊल टाकणे काही असंभाव्य नाही. पण पुढल्या अनेक दशकांपर्यंत तरी मानवाला सूर्यमाला ओलांडून जाणे जमेल असे मला तरी वाटत नाही. सूर्यमालेचा सर्वात दूरचा सदस्य प्लूटो (Pluto) हा सूर्यापासून सुमारे सहा अब्ज किलोमीटरवर फिरत असतो.

ग्रहांच्या पलीकडे सूर्यापासून दूर अनेक तारे आहेत. त्यांची अंतरे एवढी मोठी आहेत की किलोमीटर हा एकक सोयिस्कर वाटत नाही. त्या ऐवजी खगोलशास्त्रज्ञ 'प्रकाश वर्ष' (Light Year) या एककाचा उपयोग करतात. प्रकाशाने एका वर्षात तोडलेले अंतर सुमारे १०,०००,०००,०००,००० किलोमीटर इतके भरते. तुलना करायचीच

असल्यास सूर्यापासून पृथ्वीच्या अंतराशी करू. हे अंतर तोडायला प्रकाशाला निव्वळ आठ मिनिटे लागतात. कुठे आठ मिनिटे आणि कुठे एक वर्ष! परंतु खगोलशास्त्राला प्रकाश-वर्ष सुद्धा अपुरेच पडते. उदाहरणार्थ आपण रात्री पाहतो ती आकाशगंगा म्हणजे अनेक ताऱ्यांचा समूह आहे. ते तारे आपल्या तारका-विश्वाच्या सीमेवर आहेत. आपल्या तारका-विश्वात अंदाजे शंभर अब्ज तारे आहेत. त्यांत सूर्याप्रमाणे अनेक तारे आहेत, त्याहून अनेकपटीने मोठे राक्षसी तारे (Giants) आहेत, त्याचप्रमाणे सूर्यापेक्षा फार लहान तारे White dwarfs, Neutron stars पण आहेत. त्याशिवाय पल्सार, सुपरनोव्हा, कृष्णमेघ (dark-clouds), तेजोमेघ (bright nebulae) यांचा देखील आपल्या तारका-विश्वात समावेश आहे. अशा या तारका-विश्वाचा आकार मध्ये किंचित फुगलेल्या पोळी प्रमाणे आहे आणि त्याचा व्यास सुमारे एक लाख प्रकाश-वर्ष इतका आहे.

विश्वाची मर्यादा आकाशगंगेपर्यंतच आहे, असे अनेक खगोलशास्त्रज्ञाना या शतकाच्या सुरवातीला वाटत होते. परंतु हा अंदाज चुकीचा ठरला. आजचे खगोलशास्त्रातले वेध (observations) असे निश्चितपणे सांगत आहेत की विश्व अमर्यादित आहे. आपल्या तारका-विश्वापलीकडे असंख्य तारका-विश्वे आहेत. त्यांच्या समुदायामध्ये आपल्या तारका-विश्वाला विशेषस्थान आहे असेहि नाही. त्याहून विशाल, अधिक प्रकाशवान, अधिक चमत्कारीक तारका-विश्वे अस्तित्वात आहेत. फार काय तारका-विश्वांपेक्षा अद्‌भुत अशा अनेकगोष्टींचा साठा आपल्या विश्वात आहे. काही ठिकाणी महाप्रचंड स्फोट होत आहेत, आणि त्यातून रेडिओ लहरी (radio waves), क्ष किरणे (X-rays), गामा किरणे, विश्व किरणे (cosmic rays) यांचा आविर्भाव होत आहे. दहा वर्षांपूर्वी खगोलशास्त्रज्ञांना Quasi Stellar Objects किंवा Quasars चा शोध लागला. अतिशय प्रकाशवान आणि अतिशय संकुचित, ताऱ्याप्रमाणे दिसणारे पण खरोखर ताऱ्याहून प्रचंड असे हे 'क्वेसार' म्हणजे काय याचा अजून उलगडा झालेला नाही.

सध्याच्या दुर्बिणी (telescopes) दहा अब्ज प्रकाश-वर्षांपर्यंत पाहू शकतात. विश्व अमर्यादित असले तरी खगोलशास्त्राला या अंतराची मर्यादा पाळणे भाग आहे. हे अंतर मूलकणांच्या व्यासापेक्षा किती पटीने मोठे आहे? साधारण $१०^{४०}$ म्हणजे १०,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००,०००, पटीने! अणू आणि मूलकणांच्यावर आधारलेले वास्तवशास्त्राचे नियम खगोलशास्त्राच्या या विशाल पार्श्वभूमीवर कितपत सफल झाले आहेत?

'शंभर टक्के नाही' असेच या प्रश्नाचे उत्तर देता येईल. तात्त्विक खगोलशास्त्रावरील (Theoretical Astronomy) संशोधनांचा आढावा घेताना आढळून येते की विज्ञानाच्या मूलभूत नियमांचा उत्तम उपयोग होत आहे पण काही असे यक्षप्रश्न आहेत ज्यांचे उत्तर अजून सापडत नाही. वेळेच्या अभावी मला या मुद्द्याची सखोल चर्चा करता येणार नाही, म्हणून मी एका उदाहरणाने त्याचे थोडे स्पष्टीकरण करतो. ते उदाहरण आहे सूर्याचे.

सूर्यतेजाचे रहस्य

मानवाला सूर्य ही आकाशातली सर्वात अद्‌भुत वस्तू वाटणे साहजिकच आहे. सूर्य इतका तेजस्वी कशामुळे झाला? भरदुपारी उन्हात उभे राहणाऱ्यांना सूर्यापासून उष्णतेच्या रूपात ऊर्जेचे (energy) प्रारण (radiation) होत असल्याचे मुद्दाम सांगायला नको. अनेक वर्षे शास्त्रज्ञांचा अंदाज होता की ह्या ऊर्जेचा उगम गुरुत्वाकर्षणात आहे. गुरुत्वाकर्षणामुळे सूर्याचे संकुचन होते आणि त्यामुळे ऊर्जेचे प्रारण होते असा गेल्या शतकातील केल्विन (Kelvin) आणि हेल्महोल्टझ (Helmholtz) नावाच्या प्रसिद्ध शास्त्रज्ञांचा सिद्धांत होता. त्याप्रमाणे सूर्याचे वय दोन कोटी वर्षे आणि पुढील आयुष्य आणखी पाच कोटी वर्षे इतकेच भरते. त्याउलट आधुनिक भूवास्तवशास्त्र (Geophysics) सांगते की पृथ्वीचेच वय जवळजवळ ४५० कोटी वर्षे आहे. सूर्य तर पृथ्वीपेक्षा वयाने इतका लहान असणे शक्य नाही. मग इतके वर्ष तळपत रहायला सूर्याकडे दुसरा कुठला उर्जेचा साठा आहे?

या कोड्याचा उलगडा अणुगर्भीय शास्त्राच्या (Atomic-physics) मदतीने झाला. हायड्रोजन बॉम्बचा स्फोट ज्या कारणाने होतो तेच कारण सूर्यप्रकाशाच्या मुळाशी आहे. सूर्याच्या पोटात घडणाऱ्या अणुगर्भीय प्रक्रिया दोन कामे बजावतात. एक काम ऊर्जेची निर्मिती करून सूर्याला

तेजस्वी ठेवणे आणि दुसरे विलक्षण दाब निर्माण करून सूर्याचे गुरुत्वाकर्षणामुळे होणारे आकुंचन रोखून धरणे. हा दाब जर नसता तर सूर्याचे आकुंचन इतके झपाट्याने झाले असते की निव्वळ अर्ध्या तासाच्या आत तो बिंदुवत् झाला असता. एडिंगटन (Eddington), काउलिंग (Cowling) वगैरे खगोलशास्त्रज्ञांच्या आद्यकार्याची सफल परिणति १९३९ च्या सुमारास हान्स बेथा (Hans Betha) यांच्या शोधाने झाली. सूर्यामध्ये कोणत्या प्रक्रिया किती वेगाने होत आहेत, त्याने किती ऊर्जेची निर्मिती होते आणि त्यामुळे सूर्याला किती तेज लाभते वगैरे प्रश्नांची उत्तरे बेथा यानी गणित, वास्तवशास्त्र आणि खगोलशास्त्र यांच्या आधारे दिली. त्यानंतर ह्या विषयाची प्रगती झपाट्याने होत गेली. इलेक्ट्रॉनिक कम्प्यूटर्सच्या साहाय्याने सूर्य आणि इतर वेगवेगळे तारे यांची सध्याची परिस्थिती, पुढचे आयुष्य, इत्यादी प्रश्नांची उत्तरे देणे शक्य झाले.

परंतु सुमारे तीस वर्षांनी, या प्रगतीत अडथळे निर्माण झाले, आणि 'सूर्याची आपल्याला पूर्ण माहिती झाली' असे छाती ठोकून सांगणाऱ्या खगोलशास्त्रज्ञांची तोंडे उतरली. याचे कारण म्हणजे 'न्यूट्रिनो ॲस्ट्रॉनॉमी' (Neutrino Astronomy) नावाची नुकतीच उदयाला आलेली खगोलशास्त्राची एक नवीन शाखा. न्यूट्रिनो हा विद्युत्भार (electric charge) नसलेला आणि स्थिर वस्तुमान (rest mass) पण शून्य असलेला, प्रकाशाच्या गतीने धावणारा एक मूलकण. सूर्यात प्रकाशाप्रमाणे न्यूट्रिनोची पण निर्मिती होते. परंतु न्यूट्रिनोशी संपर्क साधणे अतिशय कठीण! हे शास्त्रज्ञांना साध्य झाल्यावर अमेरिकेत डेव्हिस (Davis) नावाच्या शास्त्रज्ञाने सूर्यातून उगम पावणारे न्यूट्रिनो पकडून मोजण्याचा घाट घातला. परंतु त्याला पाहिजे तितके न्यूट्रिनो मिळाले नाहीत. फार काय, सूर्यसंबंधीच्या गणिताप्रमाणे जितके न्यूट्रिनो सापडायला पाहिजेत त्याच्या फक्त दशांशानेच न्यूट्रिनो डेव्हिसला मिळाले. ही विसंगती का निर्माण व्हावी? ज्या वास्तवशास्त्राच्या नियमांवर सूर्याचे गणित आधारलेले आहे, त्यांच्यात तर उणीव नाही?

खगोलशास्त्रातले कूटप्रश्न

सूर्यापासून अपेक्षेपेक्षा कमी न्यूट्रिनो का यावेत, हे कोडे खगोलशास्त्रज्ञांना अजून सुटले नाही. सध्या खगोलशास्त्रात असे अनेक प्रश्न आहेत ज्यांची उत्तरे वास्तवशास्त्रातल्या नियमांद्वारे देणे शक्य होत नाही. 'क्वेसार किती अंतरावर आहेत?' 'रेडिओ लहरींचे प्रचंड साठे विश्वात कसे निर्माण झाले?' 'विश्वकिरणात जवळजवळ प्रकाशाच्या वेगाने जाणारे कण कुठून आले? 'आपल्या सभोवताली असलेले सूक्ष्मतरंगाचे प्रारण (microwave radiation) विश्व-निर्मितीच्या महास्फोटातून उदयाला आले का?' 'विश्वाची निर्मिती केव्हा झाली? 'विश्व अनादि-अनंत आहे का?' इत्यादि प्रश्न सध्या तात्त्विक शास्त्रज्ञांच्या कल्पनाशक्तीला ताण देत आहेत.

या सर्व प्रश्नांचा उलगडा सध्या माहीत असलेल्या मूलभूत नियमातून होईल किंवा नाही याबद्दल शास्त्रज्ञांत मतभेद आहे. प्रस्थापित तत्त्वांचा पुरस्कार करणाऱ्या बहुतेक शास्त्रज्ञांना आशा आहे की नवीन नियमांचा आधार न घेता हे सर्व प्रश्न सुटतील. त्याउलट बंडखोर शास्त्रज्ञांचा दावा आहे की अनाकलनीय प्रश्नांची यादी दिवसें दिवस मोठी होत चालल्याने वास्तवशास्त्राला नव्या दिशेची आवश्यकता आहे. माझा स्वतःचा या नव्या मतप्रणालीला पाठिंबा आहे. वास्तवशास्त्राला नवी दिशा शोधायचीच असल्यास, मला वाटते मी आधी सांगितलेला मार्ग उपयोगी पडेल. तो म्हणजे विश्वाच्या रचनेची दखल घेणे.

हा मार्ग जास्त विशद करून सांगण्यापूर्वी मी आपल्यापुढे दोन उदाहरणे ठेवतो. त्यांच्याद्वारे मला असे दाखवायचे आहे की विश्वाच्या रचनेचा आपल्या स्थानिक पर्यावरणाशी (local environment) घनिष्ठ संबंध आहे.

रात्र का पडते?

दिवस आणि रात्र हे आपल्या रोजच्या जीवनातले प्रकार. पृथ्वीच्या परिवलनामुळे सूर्य पश्चिमेच्या क्षितिजापलीकडे गेला की रात्र सुरू होते आणि तो परत पूर्वेच्या क्षितिजातून प्रकट झाला की दिवसाला सुरवात होते. 'रात्र का पडते?' या प्रश्नाचे वरील उत्तर बरोबर असले तरी ते पूर्ण उत्तर नाही, हे मी आपल्याला दाखवू इच्छितो.

मी नुकतेच आपणाला सांगितले की विश्वात सूर्यासारखे किंबहुना त्याहून अधिक प्रकाशवान असंख्य तारे आहेत. त्यांचा प्रकाश पृथ्वीपर्यंत पोचायला काय हरकत आहे?

आणि हरकत नसल्यास त्याचे प्रमाण किती असेल ? समजा आपण आपल्यापासून दहा मीटर वर साठ वॉट चा एक दिवा लावला आणि त्याचा किती प्रकाश आपल्यापर्यंत येतो हे मोजायला एक यंत्र ठेवले. नंतर तोच दिवा वीस मीटरवर ठेवला. त्याचा प्रकाश आतां निश्चितच कमी येणार. पूर्वी इतका प्रकाश पाहिजे असल्यास एका ऐवजी चार दिवे वीस मीटरवर ठेवावे लागतील. दिव्यांपासून आपले अंतर जितक्या प्रमाणात वाढवू त्याच्या वर्गाच्या प्रमाणात दिव्यांची संख्या वाढवावी लागेल. याला दीपनाचा व्यस्तवर्ग नियम (Inverse Square Law of Illumination) म्हणतात. हाच नियम ताऱ्यांच्या प्रकाशाला लागू होतो. पण गमत अशी की आपण पृथ्वीपासून जसे जसे लांब जाऊ तसे तसे ताऱ्यांची संख्या पण वर्गाच्या प्रमाणात वाढते. अर्थात हे विधान करताना मी असे गृहीत धरले आहे की विश्वाच्या रचनेला युक्लिड (Euclid) च्या भूमितीचे नियम लागू आहेत आणि ताऱ्यांची संख्या घनता सर्वत्र समान आहे. (म्हणजे ठराविक घनफलात सर्वत्र तितकेच तारे आहेत.) यातून काय निष्पत्ति निघते ? आपण पृथ्वीपासून खूप दूरचे तारे पाहिले तर प्रत्येक ताऱ्याकडून आपल्याला व्यक्तिशः फार कमी प्रकाश मिळेल, परंतु अशा ताऱ्यांची संख्या इतकी मोठी आहे की त्या सर्वांचा मिळून प्रकाश काही कमी नसेल. उलट जवळच्या ताऱ्यांपासून आपल्याला जितका प्रकाश मिळतो तितकाच लांबच्या ताऱ्यापासून मिळतो. पण विश्व जर अमर्यादित असेल तर त्यातल्या दूरदूरच्या ताऱ्यांचा मिळून प्रकाश अमर्यादितच असणार. तेव्हा अशा अमर्यादित प्रकाशापुढे सूर्याची मात्रा काय चालणार ? असे असून दिवस रात्र हा भेद सूर्यावरच काय म्हणून अवलंबून आहे ?

हा प्रश्न १८२६ मध्ये वियना येथील ऑल्बर्स (Olbers) नावाच्या शास्त्रज्ञाने केला आणि आता याला ऑल्बर्सचा विरोधाभास (Olbers' Paradox) म्हणतात. हा विरोधाभास का निर्माण होतो ? ऑल्बर्सचे गणित कुठे चुकले ? का त्याच्या गृहीतकात चूक होती ? हे कोडे उलगडायला एक शतक लागले. १९२८–३२ च्या काळात एडविन हबल (Edwin Hubble) नावाच्या खगोल शास्त्रज्ञाने, विश्व प्रसरण पावत आहे असा एक महत्त्वाचा शोध लावला. याचा अर्थ दूरदूरची तारकाविश्वे आपल्यापासून वेगाने दूर जात आहेत. त्या वेगामुळे दूरच्या ताऱ्यापासून येणाऱ्या प्रकाशाचे मंदीकरण होते. हे मंदीकरण दीपनाच्या व्यस्तवर्ग नियमाव्यतिरिक्त होते. त्यामुळे ऑल्बर्सच्या गणिताप्रमाणे दूरच्या ताऱ्यापासून फारसा प्रकाश मिळत नाही, आणि सूर्य नसला तर आकाशात जवळ जवळ अंधारच असतो. एका प्रसिद्ध सुभाषिताची दुसरी ओळ थोडी बदलली तर या वस्तुस्थितीचे योग्य वर्णन होते :

एकः सूर्यस्तमो हन्ति न तु तारागणः शतम् ।

तेव्हा रात्र का पडते या प्रश्नाचा विश्वाच्या प्रसरणाशी घनिष्ठ संबंध आहे.

पृथ्वीचे परिवलन

ऑल्बर्सच्या विरोधाभासातून असा निष्कर्ष निघतो की आपल्या निकटच्या प्रश्नांचा विचार करताना विश्वाच्या दूरपर्यंतच्या भागांच्याकडे दुर्लक्ष करून चालणार नाही. आता याच मुद्यावर मी दुसरे उदाहरण प्रस्तुत करतो.

आपण नेहमी असे विधान करतो की पृथ्वी आपल्या उत्तर-दक्षिण अक्षाभोवती परिवलन करते. या परिवलनाचा वेग किती ? आपणाला माहीतच आहे की कोणत्याहि गोष्टीचा वेग मोजण्यासाठी प्रथम एका संदर्भ-व्यूहाची (reference frame) आवश्यकता असते. उदाहरणार्थ, जेव्हा आपण एखाद्या आगगाडीच्या वेगासंबंधी विधान करतो तेव्हा तो वेग पृथ्वीला संदर्भ-व्यूह मानून मोजलेला असतो. त्या उलट आगगाडीतच्या डब्यात बसलेल्या माणसाला आगगाडी स्थिर असून पृथ्वीवरची झाडे, घरे, इत्यादि झपाट्याने जाताना दिसतात. म्हणून वेग मोजण्यासाठी संदर्भ-व्यूह ठरवणे आवश्यक असते.

पृथ्वीच्या परिवलनासाठी आपण आकाशातल्या दूरदूरच्या ताऱ्यांचा संदर्भ-व्यूह वापरू शकतो. म्हणजे हे तारे स्थिर मानून त्यांच्या पार्श्वभूमीवर पृथ्वीचे परिवलन किती वेगाने होते ते खगोल शास्त्राच्या वेधाने मोजायचे. त्यावरून आपण ठरवतो की पृथ्वीला एक फेरी पूर्ण करायला चोवीस तास लागतात.

पृथ्वीचे परिवलन मोजायची एक पद्धत अशी पण आहे जी आकाशातल्या ताऱ्यांची बिलकूल दखल घेत नाही. त्याकरता आपण फूको पेंडुलम (Foucault Pendulum) चा प्रयोग करतो. हा पेंडुलम कुठल्याही उभ्या पातळीत (vertical plane) मध्ये दोलन (oscillation) करू

शकतो. जर आपण त्याचे दोलन एका विशिष्ट पातळीत सुरू केले तर असे दिसून येते की त्याची दोलनाची पातळी हळूहळू फिरत आहे. याचे कारण पृथ्वीचे परिवलन. पण येथे संदर्भ-व्यूह कोणता ? तो ठरवायला आपल्याला न्यूटनच्या गतीच्या (Motion) नियमांची दखल घेतली पाहिजे. गतीचे नियम मांडताना न्यूटनला प्रश्न पडला होता की कुठल्याहि वस्तूची गति मोजायला संदर्भ-व्यूह कसा ठरवायचा ? हा प्रश्न सोडवण्यासाठी त्याने असे गृहीत धरले की गतीचे नियम एका ठराविक संदर्भव्यूहालाच लागू पडतील आणि त्याला 'केवल अवकाश' (Absolute Space) असे नाव न्यूटनने दिले. तेव्हा आपण न्यूटनचे नियम वापरून फूको पेंडुलमच्या मदतीने केवल अवकाशाच्या पार्श्वभूमीवर पृथ्वीचे परिवलन किती वेगाने होते ते मोजू शकतो.

विशेष म्हणजे या दोन भिन्न पार्श्वभूमीवर पृथ्वीच्या परिवलनाचा वेग तोच आहे ! यामागे काय रहस्य असावे ?

माखचा सिद्धांत (Mach's Principle)

अनेक शास्त्रज्ञांचे मत आहे की या दोन प्रयोगातून फक्त एवढाच निष्कर्ष निघतो की न्यूटनच्या केवल अवकाशाचा संदर्भव्यूह आणि विश्वातल्या दूरच्या ताऱ्यांचा संदर्भव्यूह हे एकच आहेत. त्यांच्या मते याहून जास्त खोलात शिरून वास्तवशास्त्राला काही लाभ होणार नाही. त्या उलट काही शास्त्रज्ञ या प्रश्नाला खूप महत्व देतात. त्यांच्या मते या प्रश्नाचा सखोल अभ्यास करणे आवश्यक आहे.

या मतप्रणालीचा प्रवर्तक माख (Mach) हा गेल्या-शतकातील एक शास्त्रज्ञ. त्याच्या मते न्यूटनच्या गतीच्या नियमात काही उणीवा आहेत. उदाहरणार्थ, जर केवल अवकाशात स्थिर असलेल्या वस्तूला गति द्यायची असली तर न्यूटनच्या नियमाप्रमाणे प्रेरकांची (forces) आवश्यकता आहे. याचे कारण त्या वस्तूत असलेले जडत्व (inertia). न्यूटनच्या मते जडत्व हा वस्तूचा अंगभूत गुणधर्म आहे. त्याउलट माख असे प्रतिपादन करतो की न्यूटनच्या नियमाना आवश्यक असणारे 'केवल अवकाश' हे काल्पनिक (Abstract) नसून दूरच्या ताऱ्यांच्या पार्श्वभूमीतून निर्माण झाले आहे. म्हणून त्या ताऱ्यांचा न्यूटनच्या नियमांशी आणि पर्यायाने वस्तूच्या जडत्वाशी घनिष्ठ संबंध आहे. जर ही ताऱ्यांची पार्श्वभूमी अस्तित्वात नसती आणि जर ती वस्तू विश्वातील एकमेव वस्तू असेल तर तिला जडत्व असणार नाहीं. म्हणून माखच्या मते जडत्व हा वस्तूचा अंगभूत गुणधर्म नव्हे.

माखने हा सिद्धांत गणिताच्या रूपात मांडला नाही तरी त्यातील मूळ कल्पनांनी अनेक शास्त्रज्ञांना–त्यांत आइन्स्टाइन-चा पण समावेश आहे–आकर्षित केले आणि त्यांनी आपापल्यापरीने त्या सिद्धांताला वास्तवशास्त्रातील इतर नियमांशी जोडायचा प्रयत्न केला. असाच एक प्रयत्न १९६४ मध्ये फ्रेड हॉयेल आणि मी केला. विश्वात प्रत्येक वस्तूला अंगभूत जडत्व नसून ते जडत्व इतर वस्तूतून मिळते असे आम्ही गणिताच्या सूत्रानी प्रतिपादित केले. आणि त्या सूत्रातून न मागता आम्हाला गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत मिळाला ! कधी कधी शास्त्रज्ञांच्या जीवनात असे स्फूर्तिदायक क्षण येतात. जेव्हा एकाद्या कोड्याचा मर्यादित रूपाने अभ्यास करत असताना सबंध कोडे आपोआप उलगडते; त्याचेच हे एक उदाहरण. या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतात आणि आइन्स्टाइनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतात बरेच साम्य आहे–मात्र त्यासाठी विश्वात वस्तूंची संख्या पुष्कळ असायला हवी. जर ती बोटावर मोजण्याइतकीच असेल तर दोन्ही सिद्धांतात बिलकुल साम्य नाही. मी नुकतेच सांगितले त्याप्रमाणे विश्वात वस्तूंची संख्या काही थोडीथोडकी नाही. आपल्याला खगोलशास्त्राने दिसणाऱ्या भागातच सुमारे $१०^{८०}$ (१ वर ८० शून्ये) इतका मूलकणांचा साठा आहे.

एकाच विषयावर दोन सिद्धांत असले की त्यांच्यात किती साम्य आहे यापेक्षा त्यांच्यात किती फरक आहे इकडे शास्त्र-ज्ञांचे लक्ष असते. गुरुत्वाकर्षणाच्या या दोन सिद्धांतांतले फरक शोधायला खगोलशास्त्राचा उपयोग होईल. अतिशय आकुंचित वस्तू (Highly Condensed Objects) या दोन सिद्धांतांप्रमाणे वेगळे वेगळे आविष्कार दाखवितात. आइन्स्टाइनच्या सिद्धांताप्रमाणे अशा वस्तूंचे आकुंचन सदैव चालू असते आणि शेवटी अशी परिस्थिती येते की विलक्षण गुरुत्वाकर्षणामुळे त्या वस्तूंतून प्रकाश बाहेर पडू शकत नाही. अशा स्थितीला पोचलेल्या वस्तूंना Black Holes असे नाव आहे. सूर्य जर त्या स्थितीला पोचला तर आपल्याला दिसेनासा होईल परंतु आपली पृथ्वी त्याच्या भोवती फिरत

मात्र राहील. त्या उलट आमच्या सिद्धांताप्रमाणे अतिशय आकुंचन पावल्यावर वस्तूच्या गुरुत्वाकर्षणाचे प्रतिकर्षणात (Repulsion) रूपांतर होते, आणि त्यामुळे आकुंचन थांबते. तसे असल्यास ती वस्तू Black Hole च्या दशेला पोचणार नाही. Black Holes अस्तित्वात आहेत किंवा नाहीत हा खगोलशास्त्रज्ञांपुढे सध्या एक महत्वाचा प्रश्न आहे.

होगार्थचे संशोधन

गुरुत्वाकर्षणाच्या आमच्या या सिद्धांताला प्रेरणा होगार्थ च्या संशोधनाने मिळाली. त्या संशोधनाचे मी आता थोडे विस्ताराने वर्णन करू इच्छितो. त्यासाठी आपण दोलन-सरणी (oscilating circuit) चे उदाहरण घेऊ. यातून रेडिओलहरींची निर्मिती होते आणि त्या लहरी सरणीतून उर्जा घेऊन दूरपर्यंत जातात. त्यामुळे सरणीतील उर्जा कमी होत जाते. हे वर्णन वरकरणी बरोबर वाटले तरी त्यांत एक दोष आहे. हे वर्णन विद्युत्चुंबकीय शास्त्रावर आधारलेले आहे. त्या प्रमाणे दोन तऱ्हेच्या विद्युत्लहरी असतात–एक उर्जा घेऊन बाहेर जाणारी (outgoing-wave) आणि दुसरी बाहेरून उर्जा घेऊन आत येणारी (incoming wave). मॅक्स्वेल (Maxwell) च्या नियमावर हे शास्त्र आधारित आहे आणि त्या नियमाप्रमाणे दोन्ही प्रकारच्या लहरीना या विषयात समान स्थान आहे. तरी सुद्धां प्रत्यक्षात एक प्रकारच्याच लहरी का आढळतात ? वास्तवशास्त्रज्ञांचा असा दावा असतो की जे शास्त्राप्रमाणे शक्य आहे ते विश्वात अस्तित्वात असलेच पाहिजे. मग आंत येणाऱ्या लहरी का अस्तित्वात नसाव्यात ?

या दोन तऱ्हेच्या लहरींपैकी बाहेर जाणाऱ्या लहरी भविष्यकाळात संदेश पाठवायला उपयोगी पडतात. जर दोलनसरणी आपण चार वाजता सुरू केली तर त्यातून निघणाऱ्या लहरी सूर्यापर्यंत पोचायला चार वाजून आठ मिनिटांनी सुरवात होईल. त्या उलट आत येणाऱ्या लहरी भूतकालात प्रवास करतात. त्या लहरी चार वाजता पृथ्वीवरून निघून सूर्यापर्यंत पोचेपर्यंत चारला आठ मिनिटे कमी असतील.

'भूतकालात संदेश पाठवणे अशक्य आहे म्हणून आंत येणाऱ्या लहरी अस्तित्वात नसाव्यात' असे विधान काही शास्त्रज्ञ करतात. पण त्यात काही तथ्य नाही. कारण या विधानाने मूळ प्रश्नावर बिलकूल प्रकाश पडत नाही. या प्रश्नाचे समाधानकारक उत्तर होगार्थच्या संशोधनाने मिळते.

त्या संशोधनाचा आधार म्हणजे १९४५ मध्ये दोन अमेरिकन शास्त्रज्ञ जॉन व्हीलर (John Wheeler) आणि रिचर्ड फाइनमन (Richard Feynman) यांनी केलेले उल्लेखनीय कार्य. त्याचे थोडक्यात विवरण असे आहे. विद्युत्शास्त्राच्या आरंभीच्या काळात कूलंब (Coulomb) नावाच्या शास्त्रज्ञाने दोन विद्युत्भारांच्या (electric-charges) मध्ये होणाऱ्या क्रियेचा नियम प्रतिपादित केला होता. या नियमाप्रमाणे दोन विद्युत्भारात आकर्षणाची किंवा प्रतिकर्षणाची क्रिया दुरून होते (Action at a distance)–त्याला माध्यमाची जरूरी नसते. हा नियम सोपा होता पण तो फारसा यशस्वी होऊ शकला नाहीं. याचे कारण ही क्रिया तात्कालिक किंवा तत्क्षणिक (instantaneous) आहे. म्हणजे एका विद्युत्भाराचा दुसऱ्या विद्युत्भारावर प्रभाव अनंत गतीने होतो. खरी परिस्थिती वेगळीच आहे. प्रत्यक्षात हा प्रभाव प्रकाशाच्या गतीने जातो. तेव्हा दोन भारामध्ये दुरून होणारी क्रिया प्रकाशाच्या गतीनेच व्हायला पाहिजे. हा महत्वाचा तर्क प्रसिद्ध गणिती गाउस (Gauss) याने १८४५ मध्ये केला होता पण त्याला मूर्त स्वरूप दिले नव्हते. पुढे फॅरडे (Faraday), मॅक्स्वेल यानी 'विद्युत्-चुंबकीय क्षेत्र' (Electromagnetic Field) या माध्यमाद्वारे विद्युत्-भारांच्या सर्व गुणधर्मांचे व्यवस्थित वर्णन केले. त्यापुढे कूलंबची 'दुरून होणारी क्रिया' मागे पडली.

परंतु गाउसचा तर्क गणिताच्या रूपाने मांडण्याचे काम काही शास्त्रज्ञानी या शतकाच्या सुरवातीला केले. त्यानुसार दुरून होणारी क्रिया प्रकाशाच्या गतीने जाते. परंतु त्याशिवाय ती समप्रमाणात भूतकालात आणि भविष्यकाळात जाते. म्हणजे नुकत्याच दिलेल्या उदाहरणाप्रमाणे पृथ्वीवरून चार वाजता पाठवलेला संदेश निम्मा चार वाजून आठ मिनिटांनी आणि निम्मा चारला आठ मिनिटे कमी असताना सूर्यावर पोचेल ! परंतु प्रत्यक्षात सबंध संदेश चार वाजून आठ मिनिटांनी सूर्यावर पोचायला हवा. हे कसे शक्य आहे ?

हा प्रश्न व्हीलर आणि फाइनमन यांनी सोडवला. त्यांनी असे दाखवले की जर संदेश भूत आणि भविष्य दोन्हीकडे पाठवता येत असेल तर पृथ्वीवरच्या विद्युत्‌भाराचा अगदी दूरच्या–कोट्यावधी प्रकाशवर्ष दूर असलेल्या–विद्युत्‌भाराशी संपर्क राहतो. त्यामुळे पृथ्वीवरचा विद्युत्‌भार हलवला की त्यावर विश्वातल्या सर्व विद्युत्‌भारांचा एकदम प्रभाव पडतो. या सर्वांचा प्रभाव लक्षात घेतल्यास स्थिर विश्वात (static-Universe) फक्त भविष्यगामी किंवा फक्त भूतगामी लहरीच शिल्लक राहतात. या दोन्हीपैकी एकाची निवड करायला व्हीलर आणि फाइनमन यांनी उष्मगतिक शास्त्राचा (Thermodynamics) आधार घेतला.

परंतु हा निवड करायचा प्रकार तितकासा ग्राह्य नाही. १९६१ मध्ये होगार्थने जास्त स्वाभाविक मार्गाने हा प्रश्न सोडवला. विश्व स्थिर असण्याऐवजी ते प्रसरण पावत आहे, याची त्याने दखल घेतली आणि असे सिद्ध केले की विश्वाच्या रचनेनुसार ते जर प्रसरण पावत असेल तर त्यांत भूतगामी किंवा भविष्यगामी यापैकी एकाच तऱ्हेच्या लहरी असू शकतील. उदाहरणार्थ महास्फोटापासून (Big Bang) निर्माण झालेल्या विश्वात फक्त भूतगामी लहरीच आढळतील; त्याउलट अनादि अनंत अशा नियतगतीने प्रसरण पावणाऱ्या (steady state) विश्वात फक्त भविष्यगामी लहरीच असू शकतील.

अशा तऱ्हेने दोलन सरणीत आंत येणाऱ्या लहरी कानसतात या प्रश्नाचे उत्तर मिळते. त्याच बरोबर आपल्याला विश्वाची रचना कशी असावी आणि कशी असू नये याबद्दल माहिती मिळते. पृथ्वीवरील प्रयोग शाळेचा विश्वाशी कसा घनिष्ठ संबंध असू शकतो याचे हे प्रभावी उदाहरण आहे.

विश्वापासून अणूकडे

१९६८–७१ च्या काळात हॉयेल आणि मी होगार्थने सुरू केलेले कार्य पूर्णतेला पोचवले. आज आपणांला माहीतच आहे की वास्तवशास्त्राचा अभ्यास करताना न्यूटनच्या गति-सिद्धांतावर आधारलेले गणित अपुरे पडते. विशेषतः अणु आणि त्याच्या पोटात असलेल्या मूलकणांच्या अभ्यासाकरता पुंजवादावर (Quantum Theory) आधारलेले नवे गणित आवश्यक आहे. व्हीलर–फाइनमन आणि होगार्थ यांनी आपल्या कार्यात या नव्या गणिताची दखल घेतली नव्हती म्हणून ते कार्य वास्तवशास्त्राच्या दृष्टीने अपरिपक्व होते. ही महत्वाची उणीव आम्ही भरून काढली.

या आमच्या कार्यातून असा निष्कर्ष निघतो की लहानात लहान अशा अणूच्या किंवा त्याच्या पोटातील मूलकणांच्या अभ्यासासाठी सबंध विश्व कसे आहे याची माहिती असणे अवश्य आहे. अतिविशाल आणि अतिसूक्ष्म यांच्यामधला हा पारस्परिक संबंध वास्तवशास्त्रातली एक अत्यंत आकर्षक गोष्ट आहे असे मला वाटते. माझ्या भाषणाचे सार हेच आहे.

मी मांडलेले विचार सर्वांनाच पटण्याजोगे नाहीत. पूर्वीच सांगितल्याप्रमाणे, ही मते प्रस्थापित तत्त्वांशी मिळणारी नाहीत. परंतु प्रस्थापित तत्त्वे अनेक प्रश्नांची उत्तरे देण्यात असमर्थ आहेत हे खगोलशास्त्र आज सांगत आहे. या प्रश्नांची यादी जशी जशी लांबत जाईल तशी तशी वास्तवशास्त्राला नव्या विचारसरणीची आवश्यकता वाटत जाईल आणि आज बंडखोर ठरलेली मते आणखी काही वर्षांनी ग्राह्य वाटू लागतील अशी माझी खात्री आहे.

भविष्यकाळ कसाही असो, आज मला संमेलनाचे अध्यक्षपद देऊन आपले विचार मांडायची संधी दिल्याबद्दल मराठी विज्ञान परिषदेचे आणि ते विचार शांतपणे ऐकून घेतल्याबद्दल श्रोत्यांचे आभार मानून मी माझे भाषण संपवतो.

मुद्रक : **ग. का. नायक**, गोमंतक छापखाना, गिरगाव, मुंबई, ४००००४.

प्रकाशक : **म. ना. गोगटे**, कार्यवाह, मराठी विज्ञान परिषद, चौथा मजला, ताडदेव एअरकंडिशंड मार्केट, मुंबई ४०० ०३४