

मोजमापांत एकवाक्यता आणण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या विविध एककांच्या व्याख्या ह्या, त्यातील त्रुटी दूर करण्याच्या दृष्टीने अनेक वेळा बदलल्या जात असतात. एककांच्या व्याख्यांतील हे बदल सुचवले जाताना, त्यांना विज्ञानातील प्रगतीचाही मोठा हातभार लागलेला असतो. काही मोजमापांच्या व्याख्यांमध्ये नजिकच्या भविष्यकाळात असेच महत्वाचे बदल होऊ घातले आहेत. हे बदल या व्याख्यांचे स्वरूप आमुलाग्र बदलून टाकणार आहेत...

कोणतेही मोजमाप करायचे झाले, की एकके अपरिहार्य असतात. मग ती पूर्वीची कालमापनासाठी वापरली जाणारी घटका-पळे-प्रहर-दिवस असोत की आजची सेकंद-मिनिट-तास... लांबीरुंदीसाठी वारली जाणारी वीत-हात-योजने असोत की सेंटीमीटर-मीटर-किलोमीटर... तसेच वजनासाठी वापरली जाणारी रत्तल-तोळा-शेर असोत की ग्रॅम-किलो-क्विंटल! या मोजमापांचे ज्ञान जर अचूकपणे दुसऱ्याला कळायला हवे असेल, तर दोघे वापरत असलेली एकके ही एकमेकांबरोबर अचूकपणे जुळणे आवश्यक आहे. म्हणूनच आपण आज आंतरराष्ट्रीय एककांचे मापदंड वापरतो.

इंटरनॅशनल सिस्टम ऑफ युनिट्स (SI) या स्वीकृत आंतरराष्ट्रीय पद्धतीनुसार एकूण सात मूलभूत एकके निश्चित केली गेलेली आहेत - मीटर (लांबी), सेकंद (वेळ), किलोग्रॅम (वस्तुमान), केल्विन (तापमान), ऍंपिअर (विद्युतप्रवाह), मोल (कणसंख्या) आणि कॅंडेला (प्रकाशदीप्ती). या एककांवर आंतरराष्ट्रीय सर्वसहमती आहे. थोडक्यात, एक मीटर लांबी किंवा एक किलोग्रॅम वस्तुमान हे सर्व जगभर एकसमानच भरते. या मापदंडांच्या बळावरच आज आवश्यक असलेल्या माहितीची अचूक देवाणघेवाण शक्य आहे. इतर साऱ्या मोजमापांची एकके - उदाहरणार्थ, वेग (मीटर प्रति सेकंद), घनता (किलोग्रॅम प्रति घनमीटर), इत्यादी - ही या वरील सात मूलभूत एककांच्या संदर्भाद्वारे निश्चित करता येतात.

पण ही सारी एकके तर केवळ मानवनिर्मित आहेत. मग एक मीटर किंवा एक सेकंद म्हणजे नक्की किती, हे कसे ठरवायचे? हे वरवर वाटते तेवढे सोपे नाही. ही एकक-निश्चिती अशी असली पाहिजे की जगात सर्वत्र ही एकके अगदी समान असतील, ती कधीही सहजरित्या पडताळून पाहता येतील. वर्षानुवर्षानंतरही त्यांच्यामध्ये तसूभरही फरक पडणार नाही. यासंबंधी संशोधन व शिफारस करण्याचे काम फ्रान्समधील 'आंतरराष्ट्रीय वजन व मोजमाप संस्थे'त केले जाते. आता या संदर्भात २०१७ आणि २०१८ ही दोन वर्षे ऐतिहासिक ठरण्याची शक्यता आहे. कारण अधिक अचूकतेसाठी काही एककांच्या व्याख्या बदलण्याच्या प्रस्तावावर सध्या संशोधन व विचारमंथन सुरू आहे. सात मूलभूत एककांपैकी बदल होणे अपेक्षित असलेली एकके ही किलोग्रॅम, ऍंपिअर, केल्विन आणि मोल ही आहेत. हे क्रांतिकारक बदल व त्यांची कारणे जाणून घेण्याच्या दृष्टीने, या सर्वच एककांचा परामर्श घेऊ.

या यादीतील लांबीचे एकक आहे ते मीटर. अठराव्या शतकात शास्त्रज्ञांपुढे 'एक मीटर'च्या व्याख्येचे दोन पर्याय होते - 'ज्याच्या आंदोलनाचा काळ दोन सेकंद आहे अशा लंबकाची लांबी', किंवा 'एका रेखावृत्तावरील उत्तरध्रुव ते विषुववृत्त यातील अंतराचा एक कोट्यांशाचा भाग'!. लंबकाचा आंदोलनकाल

गुरुत्वाकर्षण बलावर अवलंबून असतो आणि पृथ्वीवरचे गुरुत्वाकर्षण वेगवेगळ्या ठिकाणी वेगवेगळे असते. या कारणांमुळे पहिला पर्याय फेटाळला गेला व दुसरा स्वीकारला गेला.

काही अधिक सुधारणांनंतर, एकोणिसाव्या शतकाच्या शेवटाच्या सुमारास प्लॅटिनम आणि इरिडियमपासून तयार केलेल्या मिश्रधातूची एक 'मापदंड मीटरपट्टी' बनवली गेली; आणि शून्य अंश तपमानाला व समुद्रसपाटीवर असतो तितक्या म्हणजे एका वातावरणाइतक्या दाबाखाली तिची असणारी लांबी ही 'एक मीटर' असे निश्चित केले गेले. या एककाने त्याच्यावर टाकलेली जबाबदारी जवळजवळ सत्तर वर्षे चांगल्या पद्धतीने सांभाळली. पण अशा एकाच ठिकाणी ठेवलेल्या वस्तूवर जगभरची एकके अवलंबून ठेवणे योग्य नव्हते. शिवाय फार काळ जपून ठेवलेल्या वस्तूतही निसर्गमानाने थोडेफार फरक पडू शकतात व अधिकाधिक अचूक मोजमापांची गरज असणाऱ्या विज्ञानयुगात असा थोडाही फरक चालवून घेतला जाऊ शकत नाही.

या लांबीच्या एककाची सुधारित व्याख्या करताना, उपयोगी आला तो आईनस्टाईनच्या विशिष्ट सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतातील 'निर्वात पोकळीतील प्रकाशाचा वेग कसाही मोजला तरी सर्वत्र समान भरतो' हा नियम! प्रकाशाचा वेग हा सेकंदाला २९,९७,९२,५४८ मीटर इतका मानला गेला आहे. जर हा नियम वापरला आणि सेकंदाचे अचूक मोजमाप करता आले तर, 'सेकंदाच्या २९,९७,९२,४५८व्या भागात प्रकाशाने निर्वात पोकळीत पार केलेले अंतर' ही एक मीटरची व्याख्या होऊ शकते. मीटरची अशी व्याख्या १९८३ साली स्वीकारली गेली. यासाठी सेकंदाचा अचूक कालावधी मात्र माहित असायला हवा. सेकंदाचा हा कालावधी १९६७ सालीच निश्चित केला गेला होता.

आता सेकंदाचा हा कालावधी कसा ठरवला? पूर्वीचा सेकंद हा दिवसाच्या कालावधीवर आधारलेला होता. त्यानुसार एक सेकंद म्हणजे दिवसाच्या सरासरी कालावधीचा ८६,४००वा भाग असे मानले जायचे. पण पृथ्वीच्या स्वतःभोवतीच्या प्रदक्षिणाकाळातील किंचितशा अनिश्चिततेमुळे, सेकंदाच्या कालावधीतही अनिश्चितता निर्माण होत होती. सेकंदाचे मापन तर अधिक स्थिर आणि अचूक व्हायला हवे. त्यामुळे १९६० साली सेकंदाची ही व्याख्या बदलून ती एक वर्षाच्या कालावधीवर आधारित करण्यात आली. या व्याख्येनुसार वर्षाच्या कालावधीचा ३१५५६९२५.९७४७वा भाग म्हणजे एक सेकंद असे मानले जाऊ लागले. परंतु या वेळेपर्यंत अणुभौतिकशास्त्रातील प्रगतीने पुढची पायरी गाठली होती. त्यामुळे सेकंदाची अधिक अचूक व्याख्या करण्यासाठी अणुभौतिकशास्त्राचा अभ्यास कामी आला. त्यानुसार १९६७ साली सेकंदाची, आण्विक उत्सर्जनावर आधारलेली नवी व्याख्या स्वीकारली गेली.

गतिशून्य अवस्थेत असलेल्या सिझिअमच्या, १३३ इतका वस्तुमानांक असणाऱ्या अणुच्या केंद्रात (सिझियम-१३३) घडणाऱ्या एका विशिष्ट क्रियेत (हायपरफाईन ट्रान्झिशन) निर्माण होणाऱ्या प्रकाशलहरींची वारंवारता अतिशय स्थिर असते. त्यामुळे 'सिझिअम-१३३ या अणुतून उत्सर्जित होणाऱ्या या प्रकाशलहरींतील ९,१९,२६,३१,७७० आंदोलनांना लागणारा, पृथ्वीवरील समुद्रसपाटीवरचा कालावधी' अशी एका सेकंदाची व्याख्या करणे यामुळे शक्य झाले. अर्थात हे मापन समुद्रसपाटीवरच करायला हवे, कारण व्यापक सापेक्षतावादाच्या सिद्धांतानुसार कालावधीचे हे मोजमाप गुरुत्वाकर्षणावरही अवलंबून असते. एक सेकंद किंवा एक मीटर या एककांच्या आजच्या व्याख्या या अशा प्रकारे, स्थिर वारंवारतेच्या प्रकाशकिरणांवर व प्रकाशवेगासारख्या एका वैश्विक स्थिरांकावर अवलंबून आहेत.

एककांसारखी महत्वाची परिमाणे जर वैश्विक स्थिरांकांवर आधारलेली असली तर त्यांच्या व्याख्याही स्थिर व स्थलकालावर अवलंबून राहणार नाहीत. शिवाय वैश्विक स्थिरांक हे बहुतेक वेळा अनेक प्रयोगांद्वारे, अतिशय अचूकपणे मोजता येतात. म्हणूनच, अशा स्थिरांकांवर आधारित एककांच्या व्याख्या करण्याचे तत्त्व अंगिकारले गेलेले आहे व या मापदंडांमधील नवे होऊ घातलेले बदल याच अनुषंगाने सुचवले गेले आहेत.

आता एक किलोग्रॅमच्या व्याख्येकडे वळू. आजचा किलोग्रॅम हा, सुमारे सव्वाशे वर्षांपूर्वी पॅरिसमध्ये ठेवलेल्या, प्लॅटिनम आणि इरिडियमपासून तयार केलेल्या मिश्रधातुच्या एका दंडगोलाच्या वस्तुमानावर आधारलेला आहे. हा दंडगोल 'मापदंड एकक' म्हणून ओळखला जातो. अर्थात यालाही अचूकतेच्या मर्यादा आहेतच, कारण त्याला चिकटणारे आजूबाजूचे अतिसूक्ष्म कणही वर्षानुवर्षांच्या कालावधीत त्याचे वस्तुमान थोडेसे बदलू शकतात. त्यामुळे असा मापदंड दीर्घकाल वापरणे योग्य नाही. यातून मार्ग निघतो तो क्वांटम सिद्धांतातील प्लँकच्या स्थिरांकाद्वारे.

प्लँकचा स्थिरांक हा क्वांटम सिद्धांतानुसार प्रकाशलहरीची तरंगलांबी आणि प्रकाशलहरीची ऊर्जा यांच्यातील संबंध दर्शवतो. तसेच विशिष्ट सापेक्षतावाद हा ऊर्जा आणि वस्तुमान यांच्यातील संबंध दर्शवतो. परिणामी वस्तुमानाचे एकक हे एखाद्या प्रकाशकिरणाच्या तरंगलांबीशी निगडीत करणे शक्य आहे. अशा रितीने निश्चित केली गेलेली किलोग्रॅमची व्याख्या ही वस्तुरूपी एककावर अवलंबून नसेल, तर ती लांबी व काळ या दोहोंच्या व्याख्यांप्रमाणेच फक्त स्थिरांकांवर अवलंबून असेल.

अर्थात यासाठी प्लँकच्या स्थिरांकाचे मूल्य अत्यंत अचूकतेने निश्चित करणे आवश्यक आहे. याच दृष्टीने सध्या अमेरिकेतील नॅशनल इन्स्टिट्यूट ऑफ सायन्स अँड टेक्नॉलॉजी या संस्थेमध्ये प्लँकच्या स्थिरांकाची अधिकाधिक अचूक मोजमापे सुरू आहेत. या मोजमापांतून मिळालेली प्लँकच्या स्थिरांकाचे मूल्य जुलै २०१७मध्ये निश्चित केले जाईल व आपल्याला नवा किलोग्रॅम नक्की केवढा ते कळेल. नव्या व जुन्या किलोग्रॅममधील फरक अर्थातच मोजता येणार नाही एवढा सूक्ष्म असेल. किलोग्रॅमसारखे प्रमुख एकक बदलण्याची ही संधी साधून, इतर एककांच्या व्याख्याही वैश्विक स्थिरांकांच्या संदर्भात तयार करण्याचा प्रयत्न सुरू आहे. सात मूलभूत एककांपैकी किलोग्रॅमव्यतिरिक्त अजून केल्विन, अँपिअर आणि मोल या तीन एककांच्या व्याख्यांत बदल होणार आहेत.

'एक केल्विन' या तापमानाच्या एककाची व्याख्या ही पाण्याच्या तिहेरी बिंदूवर आधारित आहे. एका वातावरणाइतक्या दाबाखाली, ज्या तापमानाला पाणी, बर्फ व वाफ एकत्र अस्तित्वात राहू शकतात, ते तापमान २७३.१६ केल्विन इतके मानले गेले आहे. त्याच बरोबर उष्मप्रवैगिकीनुसार (म्हणजे थर्मोडायनॅमिक्सनुसार) सर्वात कमी तापमान हे शून्य केल्विन मानले गेले आहे. या दोन तापमानांतील फरकाचा २७३.१६ वा भाग म्हणजे एक केल्विन. एककाची ही व्याख्या अर्थातच काही फारशी समाधानकारक नाही. इथे मदतीला येतो तो उष्मप्रवैगिकीतील बोल्ट्झमनचा स्थिरांक. हा स्थिरांक वायुतील रेणुंची उर्जा व वायुचे तापमान यांचा एकमेकांशी संबंध जोडतो. ऊर्जा दर्शवण्यासाठी मीटर, किलोग्रॅम आणि सेकंद या परिचित एककांचा वापर केला जातो. त्यामुळे बोल्ट्झमनच्या स्थिरांकाचे मूल्य अधिकाधिक अचूकरीत्या माहित असल्यास, केल्विनची व्याख्या उर्जेच्या साहाय्याने सुलभरित्या करता येईल.

विद्युतप्रवाह म्हणजे विद्युतभारित कणांच्या प्रवाहाचा वेग. याचे एकक असणाऱ्या एक अँपिअरची व्याख्या 'अनंत लांबीच्या व अतिसूक्ष्म जाडीच्या दोन तारा एकमेकांपासून एक मीटर अंतरावर ठेवल्या असताना, जो विद्युतप्रवाह एकमेकांवर 2×10^{-7} न्यूटन प्रति मीटर एवढे विद्युतबल निर्माण करतो तितका

विद्युतप्रवाह' अशी केली जाते. इथे मुळात अडचण म्हणजे अशा अनंत लांबीच्या व अतिसूक्ष्म जाडीच्या तारा मिळणे शक्य नाही. याऐवजी जर इलेक्ट्रॉनचा विद्युतभार हाच स्थिरांक म्हणून वापरला तर ऑपिअरची व्याख्या करणे सुलभ होईल. कारण ऑपिअर हे एककसुद्धा अप्रत्यक्षरीत्या इलेक्ट्रॉनवरील विद्युतभारावर आधारलेले आहे. एक ऑपिअर म्हणजे सेकंदाला एक कुलम विद्युतभाराचे वहन. प्रत्येक इलेक्ट्रॉनवर 1.6×10^{-19} कुलम इतका विद्युतभार असतो. त्यामुळे दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे तर 6.24×10^{18} इतक्या इलेक्ट्रॉनवरचा एकत्रित विद्युतभार हा एक कुलम इतका असतो. म्हणजेच ' 6.24×10^{18} ' इतके इलेक्ट्रॉन एका सेकंदात पार होतील एवढा विद्युतप्रवाह' अशी एक ऑपिअरची सरळ व्याख्या करता येईल.

मोल हे एकक रसायनातील कणसंख्येशी निगडीत आहे. कोणत्याही मूलद्रव्याच्या एक मोलमधील अणुंची संख्या किंवा कोणत्याही संयुगाच्या एक मोलमधील रेणूंची संख्या ही सारखीच असते. मोलची व्याख्या करण्यासाठी वस्तुमानाचा आधार घेतला जातो. या व्याख्येनुसार १२ अणुभार असणाऱ्या कार्बनच्या समस्थानिकाच्या (कार्बन-१२) १२ ग्रॅम इतक्या वस्तुमानात असलेल्या अणूंच्या संख्येएवढी कणसंख्या ही एक मोल इतकी मानली गेली आहे. मात्र स्थिरांकांच्या या युगात या परिमाणाला या व्याख्येपासून पूर्णपणे मुक्त करणे शक्य होते ते ऑवोगाड्रोचा स्थिरांक वापरून. ऑवोगाड्रोच्या स्थिरांकानुसार या बारा अणुभार असणाऱ्या कार्बनच्या १२ ग्रॅममध्ये कार्बनचे 6.022×10^{23} इतके अणू आढळतात. त्यानुसार एक मोल म्हणजे 6.022×10^{23} इतके अणू वा रेणू.

एक कॅडेला हे प्रकाशदीप्तीचे म्हणजे सोप्या भाषेत एखाद्या प्रकाशस्रोताच्या तेजस्वितेचे एकक आहे. प्रत्येक वस्तू ही कोणत्याही तापमानाला त्या तापमानाशी निगडीत अशा तरंगलांबीच्या प्रकाशलहरी उत्सर्जित करीत असते. (याला कृष्णप्रारण म्हटले जाते.) कॅडेलाची पूर्वीची व्याख्या ही एका ठरावीक तापमानाला (प्लॅटिनमचा गोठणबिंदू) उत्सर्जित होणाऱ्या कृष्णप्रारणांच्या तीव्रतेशी निगडीत होती. परंतु अशा प्रकारे वस्तूची तेजस्विता मोजण्यात येणाऱ्या व्यावहारिक अडचणींमुळे १९७९ साली या व्याख्येत बदल करून ती ठरावीक तरंगलांबीच्या प्रकाशउत्सर्जनाशी निगडीत केली गेली.

या १९७९ सालच्या व्याख्येनुसार, 'सेकंदाला 540×10^{12} आंदोलने' इतक्या वारंवारतेचे प्रकाशकिरण उत्सर्जित करणाऱ्या स्रोतापासून, त्याभोवतीच्या एक स्टेरेडिअन इतक्या घन कोनामधून $1/683$ वॉट उर्जा उत्सर्जित होत असेल, तर त्या स्रोताची प्रकाशदीप्ती एक कॅडेला म्हटली जाते. (कोणत्याही बिंदूभोवतालचा एकूण घन कोन हा चार पाय इतका म्हणजे 4π स्टेरेडिअन असतो.) 'सेकंदाला 540×10^{12} आंदोलने' ही वारंवारता हिरव्या रंगाच्या प्रकाशकिरणाची असते. आपला डोळा या प्रकाशलहरीला जास्तीत जास्त संवेदनशील असतो. या व्याख्येतील 683 ही संख्या उत्सर्जित प्रकाशाची तीव्रता आणि उत्सर्जित उर्जा यांचा संबंध दर्शवणारी संख्या आहे. 'प्रकाशदीप्ती गुणकारिता' (ल्युमिनॉसिटी एफिकसी) या नावे ओळखली जाणारी ही संख्या स्थिर मानली गेली आहे. त्यामुळे कॅडेला या एककाच्या व्याख्येत कोणताही बदल केला जाणार नाही.

एकाकांच्या या नव्याने होऊ घातलेल्या व्याख्या केवळ एका मोजमापावर अवलंबून आहेत, ते म्हणजे सिझियम-१३३च्या अणुमधून येणाऱ्या प्रकाशलहरींची वारंवारता. यापासून सेकंदाचे एकक निश्चित केले गेले असल्याने, प्रकाशाचा वेग, प्लँकचा स्थिरांक, बोल्ट्झमनचा स्थिरांक, इलेक्ट्रॉनचा अणुभार, ऑवोगाड्रोचा

स्थिरांक आणि प्रकाशदीप्ती गुणकारिता, अशा एकूण सहा वैश्विक स्थिरांकांच्या मदतीने उरलेली मीटर, किलोग्रॅम, केल्विन, ॲंपिअर, मोल आणि कॅडेला ही सहा एकके सहज निश्चित करता येतात. यातील वैश्विक स्थिरांक स्थलकालावर अवलंबून नसल्याने ते अधिकाधिक अचूकतेने मोजता येऊ शकतात. एकदा का त्यांच्या किमती माहीत झाल्या की प्रत्येक एककासाठी नवे मोजमाप असण्याची जरूर नाही.

एककांच्या व्याख्यांमधील हा बदल खरेच मूलभूत आहे. केवळ एकक-निश्चिती सुलभ करणे एवढ्यापुरतेच याचे महत्त्व मर्यादित नाही, तर वैश्विक स्थिरांकांची मदत घेऊन सारी एकके एकमेकांशी सांधणारा हा बदल आहे. लांबी, वेळ, वस्तुमान, तापमान, विद्युतप्रवाह, कणसंख्या आणि प्रकाशदीप्ती ही वरवर पाहता विभिन्न असणारी परिमाणे खरे तर निसर्गनियमांनी एकमेकांशी जोडलेली आहेत याची प्रचिती यातून येते. अर्थात ही सारी इमारत, 'वैश्विक स्थिरांक स्थल-कालावर अवलंबून नाहीत' या पायावर आधारलेली आहे. हा पाया आजवरच्या असंख्य निरीक्षणांनी भक्कम बनवलेला आहे. जर भविष्यात कधी एखादा स्थिरांक बदलताना आढळून आलाच, तर विज्ञानात घडलेली ती मोठी क्रांती असेल.

एककांविषयी व वैश्विक स्थिरांकांविषयी जरा विचार केला तर लक्षात येईल की एक मीटर, एक सेकंद, एक किलोग्रॅम, वगैरेंची व्याख्या जेव्हा प्रथम केली गेली तेव्हा त्यांना जोडणारे काही दुवे असतील याची कल्पनाही आपल्याला नव्हती. यामुळेच या स्थिरांकांच्या किंमती जरा अडनिड्या आहेत. योग्यरित्या एककांच्या व्याख्या करून आपण या साऱ्या स्थिरांकांच्या किंमती 'एक' करू शकतो. अशा एककपद्धतीला नैसर्गिक एककपद्धती म्हणतात आणि मूलकणशास्त्रासारख्या भौतिकशास्त्राच्या काही शाखांमध्ये ही पद्धत बऱ्याचदा वापरली जाते. $E = mc^2$ हे आणि यासारखी इतर सूत्रे वापरून वस्तुमान, तापमान यासारख्या गोष्टी, ऊर्जेच्या एककांमध्ये व्यक्त करता येऊ शकतात. एरवीही आपण सहजपणे 'प्रकाशवर्ष' म्हणताना, 'वर्ष' या कालाच्या परिमाणाला नकळतपणे अंतराचे परिमाण बनवतो ते प्रकाशाचा वेग वापरूनच. वैश्विक स्थिरांक अशा प्रकारे एककांचे एकत्रिकरण घडवून आणतात.

अगदी रोजच्या व्यवहारातल्या लांबी, रुंदी, वेळ, वजन यांसारख्या गोष्टींची अचूक मोजमापे ही सापेक्षतावाद, क्वांटम सिद्धांत, उष्मप्रवैगिकी यांसारख्या शाखांतील प्रगतीवर आधारलेली आहेत. यावरूनच, विज्ञान आपल्या जीवनात केवढे भिनले आहे याचा अंदाज येऊ शकतो.
