

शैक्षणिक संदर्भ अंक १३१ ऑगस्ट-सप्टेंबर २०२१

पुस्तक परिचय

सुपरहिरोंचे भौतिकशास्त्र

फलंशच्या करामती

लेखक: जेम्स काकालिओस संक्षिप्त अनुवाद: नीलिमा सहस्रबुद्धे

सुपरहिरोंचे भौतिकशास्त्र

फ्लॅशच्या करामती

लेखक: जेम्स काकालिओस संक्षिप्त अनुवाद: नीलिमा सहस्रबुद्धे

सुपरहिरो कॉमिक्समधील पात्रे, घटना, इ.चा संदर्भ घेऊन भौतिकशास्त्रातील संकल्पना मनोरंजक पध्दतीने समजावून देणाऱ्या फिजिक्स ऑफ सुपरहिरोज या पुस्तकातील भाग आपण मागील काही अंकांमध्ये वाचले आहेत. त्याच पुस्तकातील हा आणखी एक भाग.

वादळी रात्र, विजांचा कडकडाट, पोलीस खात्याच्या प्रयोगशाळेत बॅरी अॅलन



खिडकीशी उभा आहे. आणि अचानक विजेचा लोळ त्याच्यावर कोसळतो! त्याच क्षणी प्रयोगशाळेतल्या सगळ्या रसायनांच्या बाटल्यांचा चक्काचूर होतो,

त्या रसायनांचा लोळ दुसऱ्या बाजूने त्याच्या अंगावर येतो. तो तिसऱ्याच बाजूला फेकला जातो पण वाचतो! स्तंभित झालेला अॅलन कसाबसा घरी जातो. दुसऱ्या दिवशी त्याच्या लक्षात येते, की आपण शेजारून जाणाऱ्या टॅक्सीला सहज गाठू शकतो आहोत... हातातून पडलेली बशी पदार्थ सांडायच्या आत झेलू शकतो आहोत! कालच्या अपघातात आपल्याला 'सुपर-स्पीड'ची, अतिवेगाची एक अद्भूत देणगी मिळालेली आहे!

अर्थातच या हिरोच्या – ‘फ्लॅश’च्या कथांमध्ये गती/ वेग यांच्याशी संबंधित अनेक अपूर्व भौतिक घटना- प्रसंग आपल्याला भेटतात... इमारतींच्या भिंतींवरून पळत जाणे, समुद्राच्या लाटांवरून पळणे, बंदुकीच्या गोळ्या हातात पकडणे... इ.इ. त्याच्या वेगामुळे जो दबाव निर्माण होतो, त्यामुळे आजूबाजूचे लोक त्याच्यामागे खेचले जातात. आता ह्या करामती भौतिकशास्त्राच्या नियमात बसतात का? पहिली ‘अद्भूत देणगी’ मिळण्याची घटना सोडली, तर बसतात.

फ्लॅश जेव्हा प्रथम एका इमारतीच्या कडेवरून चढून जातो, तेव्हा त्या कथेत लिहिले आहे – “प्रचंड गतीमुळे फ्लॅश गुरुत्वाकर्षणावर मात करू शकतो.” अगदी पहिल्या लेखात (सुपरहिरोंचे भौतिकशास्त्र, <https://www.sandarbhociety.org/issue-126/>) आपण पाहिले, की गुरुत्वाकर्षणाविरुद्ध २०० मीटर इतकी उंच उडी मारण्यासाठी सुरुवात करतानाचा वेग किती असावा लागतो. तो होता ६२.६ मीटर प्रतिसेकंद. पण इथे फ्लॅश याहून किती तरी जास्त वेगाने पळू शकतो आणि कितीतरी उंच उडी सहजच मारू शकतो. शिवाय त्याचा वेग इमारतीच्या टोकाशी शून्य होणार नाही. प्रत्यक्षात साधारण माणसांचा पळण्याचा वेग २४ कि.मी. प्रति तास असा आढळतो. या वेगाने फक्त २.२ मीटर उडी जाऊ शकेल.

खरे तर प्रश्न असा नाहीच की फ्लॅश इतकी उंच उडी मारू शकेल की नाही... तो उभ्या भिंतीवर चालत/ पळत कसा जाईल? चालत किंवा पळत जाताना तुम्ही जमिनीवर जेवढा जोर लावता, तेवढाच जोर उलट दिशेने जमिनीकडून लागला पाहिजे! शिवाय तो तुमच्या जाण्याच्या दिशेनेच हवा. हा जोर घर्षणामुळे लावला जातो. (जमिनीवर तेल सांडलेले असेल तेव्हा त्यावरून जाण्याची कल्पना करून बघा.) थोडक्यात याचा अर्थ असा की फ्लॅश उभ्या भिंतीवर पळत नसतो, तर ती त्याची झेप असते. एकाच उडीत तो ते अंतर पार करतो. हां,

आता ही उडी मारताना तो चालण्या-पळण्यासारखे पाय हलवू शकेल. फ्लॅश जमिनीवर जो जोर लावतो, तो एका कोनातून लावलेला असतो. जमीनही त्याच कोनात त्याच्यावर उलट जोर लावते. परिणामी त्याचा वेग जमिनीसपाट आणि लंब अशा दोन्ही दिशांनी वाढतो. जमिनीच्या दिशेचा वेग त्याला पुढच्या दिशेने नेतो, तर लंब दिशेचा वेग त्याला गुरुत्वाकर्षणाच्या विरुद्ध उंची देतो. फ्लॅशसारखे वेगवान धावपटू दोन पावलांच्या दरम्यान पूर्णपणे हवेत असतात. कोणी जर २ सें.मी. उंचावर जात असेल, तर त्याला हवेत एक अष्टमांश सेकंद मिळतो. फ्लॅशचा वेग असतो दर सेकंदांला १६००मीटर. दर पावलाला तो २०१ मीटर उंच जातो.

फ्लॅश जोपर्यंत इतका वेग राखून पळतो, तोपर्यंत त्याला काळजी करायची गरज नाही. मात्र गगनचुंबी इमारतीवर चढण्याआधी त्याला पळण्याच्या दिशेमध्ये बदल करावा लागेल. आता दिशेत कोणताही बदल करताना प्रवेगात (acceleration) आणि त्यानुसार लागणाऱ्या जोरात (force) बदल करावे लागतील. त्यासाठी जमीन आणि बूट यांच्यातील घर्षण तर आवश्यक आहेच, त्याशिवाय त्यासाठी आवश्यक तो जोर निर्माण करायची आणि सहन करायची अमानवी ताकददेखील त्याला त्या चमत्काराने दिलेली असायला हवी.

फ्लॅशला हा जो प्रचंड वेग मिळालेला आहे, त्यामुळेच तो समुद्रावरूनदेखील पळू शकतो. पाण्यातून चालायला हवेतून चालण्यापेक्षा जास्त जोर लागतो. पाण्यापेक्षा वेगळ्या माध्यमातून चालायचे असेल, तर त्याच्या विष्यंदतेनुसार (viscosity) लागणारा जोर बदलतो. द्रव हलण्याला जो विरोध होतो, त्याला विष्यंदता म्हणतात. द्रव जितका घट्ट तितका विरोध जास्त, वेग जितका जास्त तितकाही विरोध जास्त होतो. हवेच्या रेणूंमध्ये बरीच मोकळी जागा असते. आपल्या वातावरणात हवेच्या दोन शेजारच्या रेणूंमध्ये दहा ऑक्सिजन

किंवा नायट्रोजन रेणूंच्या इतके अंतर असते. शिवाय हे रेणू साधारण ३३५ मी/सेकंद इतक्या, म्हणजे आवाजाच्या गतीने फिरत असतात. आपण जेव्हा हवेत धावत असतो, तेव्हा आपला वेग याहून बराच कमी असतो, त्यामुळे आपल्या समोर हवेचा जास्त घनतेचा भाग निर्माण होत नाही. आपण जर हवेपेक्षा जास्त वेगाने जाऊ लागलो, तर पुढ्यात असा जास्त घनतेचा भाग (shock front) निर्माण होईल.

‘द चॅलेंज ऑफ वेदर विझार्ड’मध्ये व्हिलन त्याच्या शास्त्रज्ञ भावाची ‘वेदर स्टिक’ चोरतो आणि बँका लुटायला लागतो. तेव्हा फ्लॅश व्हिलनच्या दिशेने इतक्या प्रचंड वेगाने जातो, की हवेची अतिघन लहर त्याच्यावर आदळते. फ्लॅशच्या वेगाने खरोखरीच कोणी गेले, तर त्याच्या या स्वनातीत/ सुपरसॉनिक वेगाने बरोब्बर हाच परिणाम होईल.



पाण्याची घनता हवेच्या मानाने फार जास्त असते. पाण्याचे रेणू एकमेकांना टेकूनच असतात. त्यामुळे पाण्यातून जास्त वेगाने जाणे कठीणच असते. पण पाण्याच्या पृष्ठभागावरून जाताना ती उपयोगी ठरते. फ्लॅशचा वेग जास्त असतोच. पाण्यावरून स्की नेल्याप्रमाणे, पाण्याच्या रेणूत बुडायच्या आधीच तो पुढे सरकलेला असतो. पाण्यावर जेव्हा

त्याचा पाय १६० किमी दर तास पेक्षाही जास्त वेगाने पडतो, तेव्हा पाण्याचे रेणू बाजूला सरकण्याऐवजी एक अतिघन लहर तयार होते. ती एखाद्या घन वस्तूप्रमाणे त्याला आधारच देते. (बादलीतल्या पाण्यावर थप्पड मारली की अशीच लहर तयार होऊन आपल्या हाताला बाहेर ढकलते हे पडताळून पहा.) फ्लॅश जेव्हा पाण्यावरून पळताना दाखवतात, तेव्हा

त्याच्या अतिवेगाच्या संदर्भात ते खरेच असू शकते. मात्र जेव्हा त्याला पुढे जाण्याचा काही एक वेग प्राप्त करायचा आहे, तो त्याला पाण्याकडून मिळवता येईल का?



त्यासाठी त्याला मागे मागे वाढत जाणारी भोवऱ्यांची मालिका निर्माण करावी लागेल, तरच त्याला न्यूटनच्या तिसऱ्या

पाण्यावर चालण्यासाठी कीटक त्यांच्या पायांनी पाण्यात भोवरे निर्माण करतात.

[\(https://physicsworld.com/a/walking-on-water/\)](https://physicsworld.com/a/walking-on-water/)

नियमानुसार जोर प्राप्त होईल. पाण्यावर चालणारे कीटक, निवळ्या तुम्ही पाहिल्या असतील. (इथे कॉमिक्स विज्ञानाच्या पुढे गेली होती. फ्लॅशच्या ११७व्या कॉमिक्सनंतर सुमारे तीस वर्षांनी या कीटकांच्या चालण्याचे विज्ञान स्पष्ट झाले.)

फ्लॅश वेगाने जाताना जेव्हा त्याच्या समोरची जास्त घनतेची हवा बाजूला सारून पुढे जातो, तेव्हा त्याच्या मागे (कमी घनतेच्या) विरळ हवेचा भाग निर्माण होतो. काहीसा निर्वात प्रदेश. या भागात आजूबाजूची हवा वेगाने घुसेल आणि अधेमधे काही आले, तर तेही घुसेल. फ्लॅश जितक्या जास्त वेगाने पळत असेल, तितका हवेच्या दाबातला फरक जास्त आणि

दबाव सारखा करणारा जोरही जास्त. असा जोर तुलनेने कमी वेगाने जाणाऱ्या वस्तूंसंदर्भात देखील जाणवतो. उदा. बोगद्यात शिरणारी रेल्वे. बोगद्याच्या आकारामुळेही हा परिणाम जरासा वाढतोच. रेल्वेच्या मागून आसपासचे कागद - पालापाचोळा अशा वस्तू जोरात खेचल्या जातात. या परिणामाचा उपयोग करून फ्लॅश उंचावरून पडणाऱ्या लोकांना वाचवतो किंवा कधी पळणाऱ्या चोरांना पकडतो. त्यासाठी चोराच्या भोवती गोल फिरून भोवराही तयार करतो.



© 1960 National Periodical Publications Inc. (DC)

आता या सगळ्या उद्योगात फ्लॅश जर आवाजाच्यापेक्षा जास्त वेगाने जाऊ लागला, तर त्याच्या मागच्या माणसाचे बोलणे, सूचना देणे फ्लॅशला ऐकू येणे अशक्य होईल. तो आवाज पोचायच्या आधीच फ्लॅश दुसऱ्या जागी पोचलेला असेल. मात्र समोरच्या / पुढच्या बाजूने बोललेले त्याच्यापर्यंत पोचेल. कोणताही आवाज म्हणजे हवेच्या रेणूंमधील घनतेतील बदल असतात. समोरून येणारे बदल त्याच्यावर एरवीपेक्षा लवकर आदळतील. त्याला ऐकू येणाऱ्या आवाजाची पट्टी वाढलेली असेल. फ्लॅशचा वेग जितका जास्त, तितका आवाजाच्या पट्टीत होणारा फरक जास्त. डॉपलर परिणाम याच कारणाने होतो. कानावर पोचणाऱ्या ध्वनिलहरींची तरंगलांबी बदलल्यामुळे ऐकू येणारी पट्टी बदलते.

याच्या उलट जेव्हा ठरावीक तरंगलांबीच्या लहरी सोडून, त्या एखाद्या स्थिर पृष्ठभागावरून परावर्तित होतात, तेव्हा तरंगलांबी बदलत नाही. जवळ येणाऱ्या वस्तूमुळे

येणारी तरंगलांबी कमी होते (पट्टी वाढते). लांब जाणाऱ्या वस्तूमुळे तरंगलांबी वाढते (पट्टी कमी होते). येणाऱ्या अँब्युलन्सचा सायरन जाणाऱ्या अँब्युलन्सपेक्षा वेगळा ऐकलेला तुम्हाला आठवत असेल. हाच फरक मोजून डॉपलर रडार येणाऱ्या वादळाचा वेग मोजते.

वेगाने म्हणजे किती वेगाने? आवाजाच्या की प्रकाशाच्या?

आपण पाहिले की फ्लॅशला आवाजापेक्षा जास्त वेगानेही जाता येते. त्यामुळे त्याच्या दृष्टीने समोरून येणाऱ्या आवाजाची पट्टी वाढते आणि त्याला आपल्यापेक्षा उंच पट्टीतला आवाज ऐकू येतो. त्याच्या अशा वेगाने आणखीही काही गमतीजमती घडतील.

समजा फ्लॅश आपल्यापासून १० किमी.वर उभा आहे. तो म्हणाला “फ्लॅश” आणि त्याने आपल्याकडे यायला आवाजाच्याच वेगाने सुरुवात केली. अर्ध्या वाटेत, ५ किमी.वर तो म्हणाला “आला”. तर आपल्याला काय ऐकू येईल? जरा टप्प्याटप्प्याने पाहूया.

समजा फ्लॅशचा वेग आवाजापेक्षा जरा कमी आहे; यावेळी त्याचा शब्द “फ्लॅश” ५ किमी.वर आधी पोचेल, मग तो तिथे पोचून म्हणेल “आला”. आणि आपल्याला “फ्लॅश आला” असे ऐकू येईल आणि पाठोपाठ तो आपल्या समोरून जाताना दिसेल.

आता समजा फ्लॅशचा वेग आवाजापेक्षा जरा जास्त आहे; यावेळी तो ५ किमी.वर आधी पोचेल, मग तो म्हणेल “आला”. आणि आपल्या जवळ तो त्याच्या शब्दांआधी पोचेल. म्हणजे समोरून जाताना आधी दिसेल, पाठोपाठ त्याचा शब्द “आला” मग “फ्लॅश” असे आपल्याला ऐकू येईल.

आणि जेव्हा फ्लॅश बरोबरी आवाजाच्याच वेगाने (३४३ मी.प्रतिसेकंद) जात असेल, तेव्हा तो स्वतः जाताना निर्माण होणारी हवेची लाट आणि त्याचे दोन्ही शब्द हे एकाच क्षणी

आपल्या कानावर आदळतील. ते एकत्रित झालेले शब्द वेगळे कळणार सुद्धा नाहीत. यालाच सॉनिक बूम (sonic boom) म्हणतात. बंदुकीच्या गोळीमुळे किंवा चाबकाच्या फटकाच्यामुळेही असेच पोकळ आवाज घुमतात. अशा आवाजामुळे आसपासच्या काचा फुटू शकतात. २००४मध्ये लिहिलेल्या एका कथेमध्ये फ्लॅश म्हणतो, “मनुष्यवस्तीतून बाहेर पडेपर्यंत मी वेग वाढवत नाही... चुकांमधून आपण शिकायला हवेच, नाही का?” आधीच्या एका कथेत फ्लॅशची स्मृती नष्ट झालेली असते, त्याला लुटायचा प्रयत्न काहीजण करतात आणि प्रतिकार करताना तो ज्या वेगाने धावतो, त्यामुळे आसपासच्या सगळ्या खिडक्यांची तावदाने फुटून इमारती कोसळायच्या बेताला येतात!

फ्लॅशचे शब्द ऐकताना, जर तुमचे डोळे अचूक काम करत असतील आणि तुम्हाला लिप रीडिंग येत असेल, तर तो “फ्लॅश आला” म्हणाला की “आला फ्लॅश” म्हणाला ते तुम्हाला ओळखता येईल. (मग ऐकू येण्याचा क्रम काहीही असो.) कारण तुमच्यापर्यंत येणारा प्रकाश आवाजापेक्षा फारच जास्त वेगाने येतो. (3×10^8 मी.प्रति सेकंद.) विजा कडाडत असलेले वादळ आपल्यापासून किती दूर आहे, ते यावरूनच ओळखता येते.

फ्लॅशने आपला वेग प्रकाशाइतका वाढवला तर काय होईल?

अशा प्रचंड वेगाने जाणाऱ्या वस्तूंसाठी प्रचंड बदल घडतात; त्यांचे वस्तुमान, लांबी, काळ यांच्यातही बदल होतात... त्याबद्दल आईन्स्टाईनने विशेष सापेक्षतेचा सिद्धांत मांडलेला आहे.

१. प्रकाशाच्या वेगापेक्षा जास्त वेग संभवत नाही. (सॉरी - सुपरमॅन, फ्लॅश). तुम्ही कोणत्याही दिशेने, कितीही वेगाने प्रवास करत असलात तरी प्रकाशाचा वेग सारखाच राहतो.

२. भौतिकीचे नियम सर्वांसाठी सारखेच असतात. तुम्ही स्थिर असलात किंवा गतिमान असलात तरी.

पहिला नियम आपल्यापुढे विचित्र परिस्थिती उभी करतो. फ्लॅश जेव्हा बंदुकीतून सुटलेल्या गोळीच्या दिशेने त्याच वेगाने जातो, तेव्हा गोळी त्याच्या दृष्टीने स्थिर असते. (म्हणून तर तो ती हाताने पकडून बाजूला टाकू शकतो). आपल्या दृष्टीने मात्र तिचा वेग १६०० किमी.प्रति तास असू शकतो. पण जर फ्लॅश प्रकाशाच्या अर्ध्या वेगाने प्रकाशाच्या दिशेनेच प्रवास करत असेल, तरी त्याच्यासाठी प्रकाशाचा वेग 3×10^8 मी.प्रति सेकंद असतो; तो अर्धा होत नाही!! हे कसे काय?

आईन्स्टाईनची मांडणी अशी आहे : फ्लॅश जेव्हा तुमच्या दिशेने प्रकाशाच्या अर्ध्या वेगाने येत असेल, तेव्हा त्याच्या दृष्टीने, तुम्ही त्या वेगाने प्रवास करत येत आहात, तो स्थिर आहे असेही धरता येते. त्या वेळी तुमची रूंदी कमी झालेली असेल... आणि तुमचे घड्याळदेखील सावकाश चालत असेल. तुमच्या दृष्टीला फ्लॅशची रूंदी / त्याच्या हातातल्या मीटरपट्टीची लांबी कमी दिसेल. फ्लॅशचे घड्याळ सावकाश चालते आहे असे तुम्हाला वाटेल! तेव्हा कुठे प्रकाशाचा वेग तुम्ही आणि फ्लॅश दोघांसाठीही 3×10^8 मी.प्रति सेकंद इतकाच असेल.

प्रकाशाच्या वेगापेक्षा जास्त वेगाने काहीही का बरे जाऊ शकत नाही? जर फ्लॅश अधिकाधिक जोर लावत गेला, तरी वेग का वाढत नसेल? शक्यता अशी आहे की जोर वाढूनही प्रवेग वाढत नाही, तर वस्तुमानच वाढत असेल! $F = m \times a$. म्हणजे आपणा स्थिर

पामरांच्या दृष्टीला जशी लांबी-रुंदी कमी दिसते, घड्याळ सावकाश जाऊ लागते, तसे वस्तुमानही वाढायला लागते!

८९ क्रमांकाच्या कॉमिकमध्ये फ्लॅश चोन्जीन नावाच्या गावातली अख्खी वस्ती अणुस्फोटापासून वाचवण्यासाठी उचलून नेतो... प्रकाशाच्या वेगाने. ती कामगिरी झाल्याक्षणी तो कोसळतो, मात्र त्याचे जवळ जवळ 'अनंत वस्तुमाना'चे डोळे जळत्या चोन्जीनकडे वळतात, असा उल्लेख आहे.

फिजिक्स ऑफ सुपरहिरोज हे पुस्तक तुम्ही पीडीएफ स्वरूपात थेट डाउनलोड करू शकता.

लिंक - <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Physics-of-Superheroes-Kakalios/e49024d876070954a808b93f47f5300337103a2a>

§§§

लेखक : जेम्स काकालिओस, अमेरिकेतील मिनेसोटा विद्यापीठातील स्कूल ऑफ फिजिक्स अँड अस्ट्रॉनॉमी येथे अध्यापन करतात, सर्वसामान्यांसाठी विज्ञान लेखन करतात.

संक्षिप्त अनुवाद : नीलिमा सहस्रबुध्दे, शैक्षणिक संदर्भ संपादक गटात सहभागी.

इ-मेल : neelimasahasrabudhe@gmail.com

(कळीचे शब्द: पदार्थविज्ञानाचे शिक्षण, शिक्षणातील रंजकता, सुपरहिरो कॉमिक्स, इमारतींच्या भिंतींवर चढणे, समुद्राच्या लाटांवरून पळणे यामागील भौतिकशास्त्र, फ्लॅश, प्रकाशाचा वेग, ध्वनीचा वेग, डोपलर परिणाम, सॉनिक बूम, आईन्स्टाईन, सापेक्षता सिध्दांत)

शैक्षणिक संदर्भ द्वैमासिकाविषयी

शैक्षणिक संदर्भ हे पालकनीती परिवाराचे द्वैमासिक ऑगस्ट १९९९ पासून संदर्भ सोसायटी प्रकाशित करत आहे. मराठीतून चांगले विज्ञान वाचायला मिळावे, शालेय व महाविद्यालयीन विद्यार्थ्यांच्या कुतूहलाला प्रोत्साहन मिळावे, अनुभवांना जोडून असलेल्या विज्ञानाची सहज ओळख व्हावी आणि समाजात वैज्ञानिक दृष्टिकोन वाढावा, हे याचे उद्देश आहेत.

२०१८ सालापासून आम्ही शैक्षणिक संदर्भची छापील आवृत्ती न काढता इ-अंक प्रकाशित करत आहोत व इमेल आणि व्हॉट्सॅपच्या माध्यमातून वाचकांपर्यंत पोहोचवत आहोत.

आपल्याला आमचे अंक वाचायचे असल्यास आपला इ-मेल पत्ता आणि व्हॉट्सॅप क्रमांक (ऐच्छिक) आम्हाला sandarbh.marathi@gmail.com वर पाठवावा. दर आठवड्याला एक लेख व दर दोन महिने पूर्ण झाल्यावर आठ लेखांचा एकत्रित एक अंक असे आपल्याला पीडीएफ स्वरूपात मिळतील.

www.sandarbhsociety.org या वेबसाईटला जरूर भेट द्या. जुने अंकही त्यावर पीडीएफ स्वरूपात उपलब्ध आहेत.

हा उपक्रम विनामूल्य आहे, पण आपण आपला सहभाग ऐच्छिक देणगी रूपात संदर्भ सोसायटीकडे पाठवू शकता. अधिक माहिती वेबसाईटवर उपलब्ध आहे.

- संपादक मंडळ, शैक्षणिक संदर्भ व विश्वस्त मंडळ, संदर्भ सोसायटी