



1. गतीमानता.
2. भौतिक राशी.
3. विस्थापना, वस्तुमान, काल.
4. साधित राशी.
5. गतीविषयक सूत्रे.
6. सदिश व आदिश राशी.
7. संवेग.
8. न्यूटनचा जडत्वाचा पहिला नियम.
9. घर्षणबल.
10. जडत्व.
11. न्यूटनचा दुसरा नियम.
12. जडत्व चर्चा.
13. घर्षणबल चर्चा.
14. न्यूटनचा गुरुत्वबलाचा नियम.
15. न्यूटनचा तिसरा नियम.
16. तिन्ही नियमांचे परस्परावलंबन.

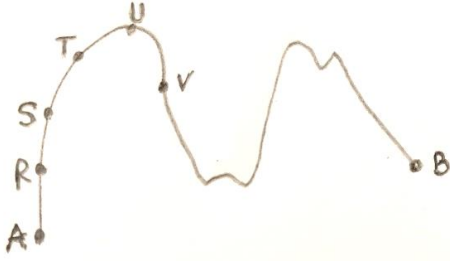
आज आपण हालचाल-गतीमानता - **motion** या नैसर्गिक घटिताचा

(**phenomenon**) अभ्यास करणार आहोत. यासाठी आपल्याला उपजतपणेच (**intuitively**)

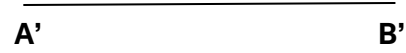
माहिती असलेल्या काही संकल्पनांचा वापर करणार आहोत. या संकल्पना आपल्याला

जुजबीरित्या (**roughly**) माहिती आहेत. त्यांची नेमकी मांडणी यथायोग्य वेळेला होईल.

विस्थापना (displacement) :- एखादी वस्तू **A** या बिंदूपासून **B** या वेगळ्या बिंदूपर्यंत जाणे.



आकृती 1



आकृती 2

आकृती 1 मधील विस्थापनेचा अभ्यास बराचसा अवघड आहे. तो सोपा करण्यासाठी आपण आकृती 1 मधील मार्गाचे **AR, RS, ST, TU, UV** असे छोटे छोटे सरळ (**straight**) भाग

करणार आहोत आणि आकृती 2 मधील **A'B'** या सरळ एकरेषीय (**rectilinear**)

विस्थापनेचा अभ्यास करून त्यावरून आकृती 1 मधील क्लिष्ट विस्थापना समजून घेऊ.

भौतिक राशी (physical Quantities) :-

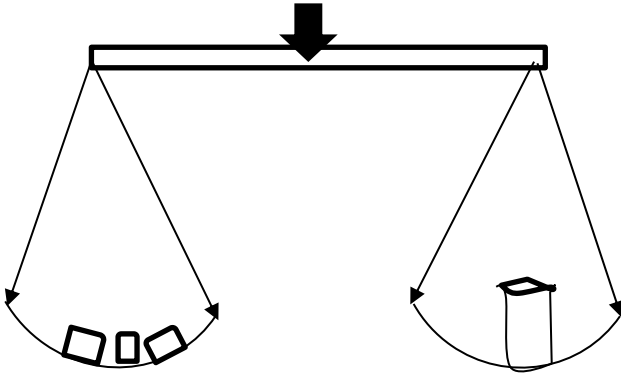
आपल्या ज्ञानेंद्रियांना (**senses**) प्रतीत होणाऱ्या आणि ज्यांचे मोजमाप

(**measurement**) शक्य आहे अशा निसर्गातल्या मूर्त (**concrete**) किंवा

अमूर्त (**abstract**) अशा गोष्टींना भौतिक राशी म्हणतात. राशी हे एकवचन व राशी हेच अनेकवचन.

विस्थापना :- ही अशीच एक भौतिक राशी आहे. तिचे माप मीटर (**meter**) हे आहे.

वस्तुमान (Mass) :- प्रत्येक वस्तूला वस्तुमान असते.



आकृती 3

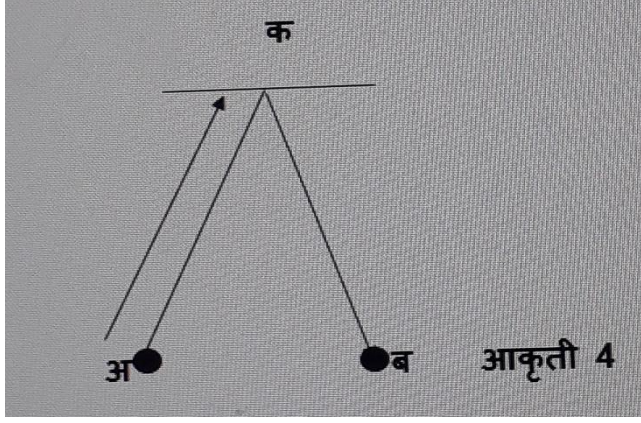
प्रयोग : एका तराजूमध्ये उजव्या तागडीत एक रिकामे काचेचे चंचुपात्र (**Beaker**) ठेवून डाव्या तागडीत सुयोग्य वजने ठेवली आहेत व तराजू संतुलित केला आहे. आता **Gems** च्या 5 गोळ्या चंचुपात्रात टाका. डाव्या तागडीत 1 ग्रॅमचे वजन टाकले की तराजू संतुलित होतो. 5 गोळ्यांचे वस्तुमान 1 ग्रॅम.

चंचुपात्रात आणखी 5 **Gems** टाका. संतुलनासाठी डाव्या तागडीत आणखी 1 ग्रॅम चे वजन टाकावे लागेल. म्हणजे 10 गोळ्यांचे वस्तुमान 2 ग्रॅम. “म्हणजे द्रव्यसाठा वाढला की वस्तुमान वाढते.” **वस्तुमान म्हणजे द्रव्यसाठ्याचे माप.**

वस्तुमान किलोग्रॅम या एककात मोजतात. 1 ग्रॅम म्हणजे 1/1000 किलोग्रॅम.

काल (Time):- कोठल्याही भौतिक क्रियेमध्ये वेळ व्यतीत होत असतो हे उपजतपणेच आपल्याला माहिती आहे. आकृती 4 मध्ये एक दोलक (गोळा) टांगला आहे. दोलक गोळ्याच्या मध्यबिंदूपासून "क" या आधारबिंदूपर्यंत दोलकाची लांबी 99.4 से.मी. एवढी आहे.

अ या बिंदूपाशी दोलक सोडला तर अ ब अ हा प्रवास म्हणजे एक दोलन. एका दोलनाला दोन सेकंद एवढा अवधी लागतो. अ ते ब या प्रवासास एक सेकंद लागत.



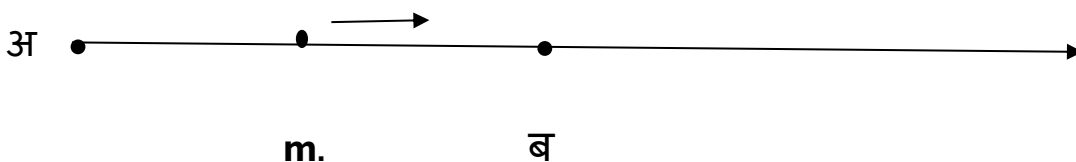
दोलनांची संख्या मोजून एखाद्या भौतिक क्रियेला किती वेळ लागतो हे आपल्याला सेकंदांमध्ये मोजता येते. “सेकंद” हे कालाचे एकक आहे.

विस्थापना, वस्तुमान व काल या स्वयंभू मूलभूत (**fundamental**) राशी आहेत. अन्य राशींपासून यांची निर्मिती होत नाही.

पण या राशींपासून आपल्याला उपयुक्त अशा राशी साधित करता येतात. आपल्या अभ्यासात आपल्याला हा उद्योग करायचा आहे. आपल्याला आता सरळ एकरेषीय गती (**Uniform Rectilinear motion**) याचा अभ्यास करायचा आहे आणि त्यासाठी कांही औजारे तयार करावी लागतील आणि अगदी थोडे बैजिक (**algebraic**) गणित निर्माण करावे लागेल. या गणिती सूत्रांमध्ये भौतिक राशी दर्शवण्यासाठी इंग्रजी मुळाक्षरे वापरली जातील.

गतीविषयक सूत्रे (Kinematic Equations):

आकृती 5





आपली अभ्यासवस्तू “**m**” एवढ्या वस्तुमानाची व जिची स्थिती (**position**) एका बिंदूने दर्शवता येईल इतकी लहान आहे.

“**m**” ही वस्तू अ पासून ब चे अंतर (**s**) “**t**” एवढ्या कालात गेली. हे अंतर आपण “**s**” या अक्षराने दर्शवू. आपण आता “**s/t**” ही पहिली साधित राशी तयार करू. हिला म्हणायचे वेग. हा आणि असे वेग आपण **u**, **v** या इंग्रजी अक्षरांनी दर्शवू.

वेग = $s/t = v$ या मार्गक्रमणामध्ये वेग कायम राहिल याची खात्री नाही किंबहुना तो बदलेल.

समजा $t = 0$ या वेळी “**m**” गतीमान झाला आणि त्यावेळी त्याचा वेग “**u**” एवढा होता. $t = t$ यावेळी “**m**” **B** इथे पोहोचला त्यावेळी त्याचा वेग “**v**” एवढा होता. विस्थापना किती झाली?

सरासरी वेग \times काल (लागलेला वेळ)

$$s = \{(u + v) / 2\} \times t \dots\dots\dots \text{समीकरण (0)}$$

साधित राशी **u** किंवा **v** यांचे माप काय?

ते आहे (मीटर / सेकंद) मीटर दर सेकंदास. वेग बदलतो आहे. तेव्हा बदलणारा वेग मोजणारी आणखी एक साधित राशी हवी, ती आहे---

त्वरण “**a**” = वेगातला बदल / त्यासाठी लागलेला काल

$$a = (v - u) / t \quad \text{----- व्याख्या}$$



यापासून $v = u + at$ ----- (1) हे पहिले गतीविषयक समीकरण मिळते . त्वरण हे (मीटर / सेकंद) / सेकंद म्हणजे मीटर/ sec^2 या मापाने मोजतात. ही दुसरी आणि खूप महत्वाची साधित राशी.

आता त्वरणयुक्त गतीने वाटचाल करणारा “m” किती अंतर कापत असेल?

आपण $s = \{(u+v)/2\} \times t$ या समीकरणाचा वापर करू.

समीकरण (1) $v = u + at$

आता v ची ही किम्मत (0) समीकरणात घालू.

म्हणून, $s = [(u+u+at) /2] \times t = ut + \frac{1}{2} at^2$ ----- (2)

हे गतीविषयक दुसरे समीकरण.

आता तिसरे समीकरण निर्माण करायचे आहे त्यात नवीन कांही नाही. केवळ या बोटारची थुंकी त्या बोटार करण्यासारखे आहे. समीकरण (1) च वर्ग करा व येणाऱ्या उत्तराची थोडीशी निराळी जुळवाजुळव करा.

$$v^2 = (u + at)^2 = u^2 + 2uat + a^2 t^2$$

$$= u^2 + 2a(ut + \frac{1}{2} at^2) \text{ समीकरण (2) वापरा}$$

$$v^2 = u^2 + 2 a s \text{----- (3)}$$

तिसरे समीकरण मिळाले. या समीकरणांवरून गतीविषयक प्रश्न सोडवता येतात.

आपल्याला उपजतपणे (intuitively) माहिती असलेल्या कांही राशींची नोंद करू आणि आपल्या गतीमानतेच्या अभ्यासाला सुरुवात करू.



Force बल - ढकलणे (**push**), ओढणे (**Pull**)

Energy ऊर्जा - कार्य (**work**) करण्याची क्षमता.

Work कार्य - ऊर्जेचा व्यय किंवा संचय करून घडलेली भौतिक क्रिया.

याही सर्व साधित राशी आहेत. त्यांच्या अचूक व्याख्या व त्यांचे परस्परसंबंध या गोष्टी यथावकाश येतील.

भौतिक राशींचे आणखी एक वैशिष्ट्य म्हणजे त्यांतल्या कांही राशींना दिशा असतात.

|<-----मात्रा----->|

अ—————> ब

अ ते ब या विस्थापनेला “मात्रा” (**measure**) आहे आणि बाणाने दाखवलेली दिशाही आहे. ज्या राशींना “मात्रा” व दिशा या दोन्हींची आवश्यकता असते त्या राशींना सदिश राशी (**Vectors**) म्हणतात. विस्थापना, वेग, त्वरण, बल या सदिश राशी आहेत. वस्तुमान, कार्य, ऊर्जा या अदिश राशी (**Scalars**) आहेत.

एवढ्या तयारीनंतर आता आपण गतीमानता - **Motion** या राशीच्या अभ्यासाला सुरवात करू. गतीमानतेचे परिमाण (**Measure**) आपल्याला ठरवता येईल कां? बघूया.

चल वस्तूंचे दोन गुणधर्म आहेत. त्यांचे वस्तुमान “**m**” व त्यांचा वेग “**v**”.



1 ग्रॅम वजनाची 50 **cm /sec** या वेगाने येणारी काचेची गोटी आपण सहज थांबवू शकतो.

1 ग्रॅम वजनाचा गोफणीतून सुटलेला दगड पक्ष्याला जायबंदी करतो, कारण वेग फारच जास्त असतो.

1 ग्रॅम वजनाच्या, बंदुकीतून सुटलेल्या गोळीबाद्दल तर बोलायलाच नको. तेव्हा **चल वस्तूचा वेग जितका जास्त, तितका परिणाम (सुष्ट किंवा दुष्ट) जास्त !**

100 ग्रॅम वजनाचा 25 **cm/ sec** या वेगाने धावणारा गोळा आपण हाताने थांबवू. 1 कि.ग्रॅम वजनाचा 25 **cm/ sec** वेगाने धावणारा गोळा थांबवायला कष्ट पडतील. 10 कि. ग्रॅम. वजनाचा 25 **cm/sec** वेगाने येणाऱ्या गोळ्याला थांबवणे फारच अवघड जाईल. हळूहळू त्याचा वेग कमी करित थांबवावे लागेल.

चल वस्तूचे वस्तुमान जितके जास्त तितका तिचा परिणाम जास्त !

वरची दोन्ही विधाने लक्षात घेऊन चल वस्तूमध्ये समाविष्ट असलेल्या गतीमानतेची एक साधित राशी बनवू.

$$\text{संवेग} = m \times v$$

संवेग किलोग्रॅम मीटर/ सेकंद या मापाने मोजतात. ही फार महत्त्वाची साधित राशी आहे. न्यूटनचे गतीविषयक नियम आपण संवेग या राशीचा वापर करून समजून घेणार आहोत.

“बलरहित अवस्थेत वस्तूचा संवेग स्थिर (**constant**) असतो.”

1. संवेग शून्य $mv = 0$, याचा अर्थ $v = 0$ (कारण m शून्य असू शकत नाही). म्हणजे वस्तू स्थिर आहे.

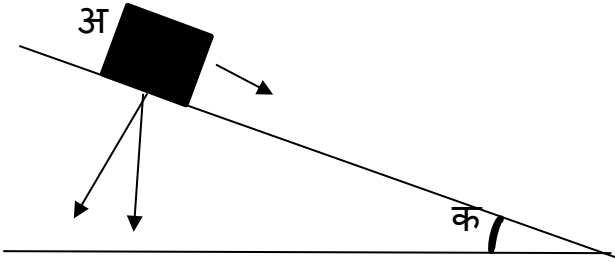
2. संवेग अशून्य (**non zero**) $mv = p$, म्हणजे संवेगात बदल न होता वस्तू स्थिर (**constant**) वेगाने सरळ एका रेषेत मार्गक्रमणा करणार.

1 व 2 मिळून गॅलिलिओ न्यूटन यांचा जडत्वाचा (**Inertia**) नियम व न्यूटनचा पहिला नियम सिद्ध होतो.

जडत्वाच्या नियमाविरुद्ध वाटणारे असे काही अनुभव नोंदवूया.

A) पायडल मारणे थांबल्यावर काही काळ सायकल पुढे जात रहाते. पण शेवटी थांबते. का? घर्षणबलामुळे.

B) एका उतरंडीवर (**Inclined plane**) एक ठोकळा ठेवलेला आहे. तो स्थिर आहे.



आकृती 6

उतरंडीचा कोन वाढवत राहिलो तर एका कोनाला ठोकळा गतीमान होतो. का?

कारण, गुरुत्वबलाचा एक घटक (**Component**) आणि घर्षणबल संतुलित होते तोपर्यंत ठोकळा स्थिर होता. गुरुत्वबलाचा एक घटक पुरेसा वाढल्यावर संतुलन संपले. ठोकळा हलला.

जडत्व - म्हणजे, आहे त्या स्थितीत राहण्याची प्रवृत्ती. जडत्व या प्रवृत्तीचा आविष्कार वेगवेगळ्या परिस्थितीत वेगवेगळा होतो याची चर्चा थोडीशी पुढे ढकलू या.

न्यूटनच्या पहिल्या नियमातच “बल रहित” अवस्थेच्या निमित्ताने बल या राशीचा चंचूप्रवेश झाला आहे. ज्या भौतिक राशीमुळे वस्तूच्या संवेगात बदल होतो, तिला बल म्हणतात. संवेगाची मात्रा (**Measure**) किंवा दिशा (**Direction**) किंवा दोन्ही बलामुळे बदलतात. न्यूटनने यापुढे जाऊन बलाची गणिती व्याख्याच करून टाकली.

$$(\text{बल}) \vec{F} = m (\text{वस्तुमान}) \times \vec{a} (\text{त्वरण})$$



$$m \times (v_2 - v_1) / t = (mv_2 - mv_1) / t$$

= संवेग बदलाचा दर

न्यूटनचा दुसरा नियम हा भौतिक शास्त्रातला, इतर कशावरही अवलंबून नसलेला मूलभूत नियम आहे. कुठल्याही प्रयोगाने त्याची सिद्धता होत नाही. पण प्रयोगांनी तो पडताळून पाहिला जातो.

न्यूटनचा जडत्वाचा नियम हा दुसऱ्या नियमाचा एक उपनियम (Corollary) म्हणून सिद्ध होतो. हे खालीलप्रमाणे दाखवता येते.

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

बलरहित अवस्था म्हणजे \vec{F} व \vec{a} शून्य. $m \times (v_2 - v_1) / t$ ही राशी शून्य म्हणजे

$mv_2 = mv_1 = mv$ ही राशी स्थिर.

जडत्व थोडी चर्चा :-

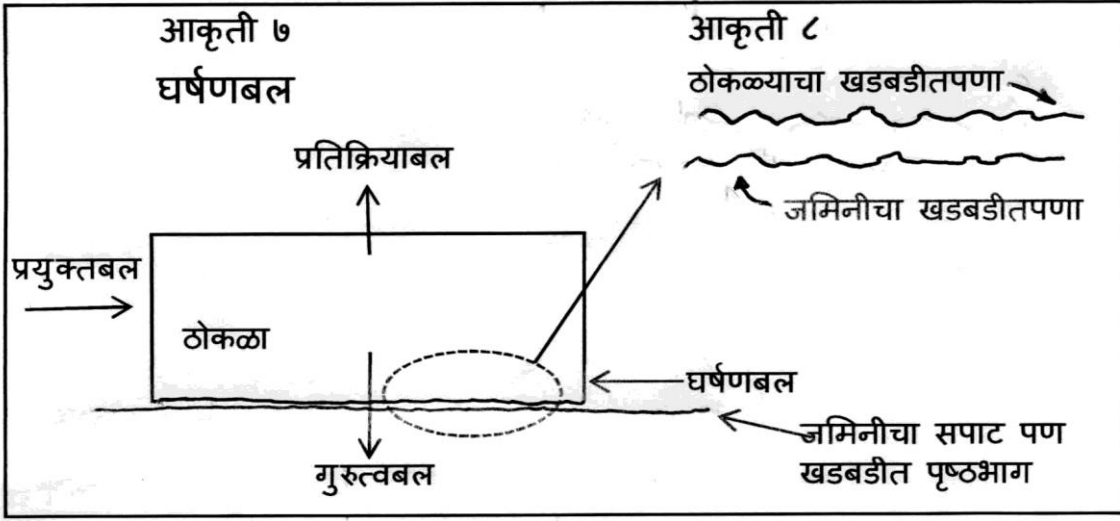
1. एखाद्या स्थिर वस्तूवर बल प्रयुक्त झाल्यावर तिच्यात किती त्वरण निर्माण व्हावे हे वस्तुमान m ही राशी ठरवते.

$\vec{F} = m \vec{a}$ बल स्थिर असल्यास, जर m ही राशी जास्त असेल तर त्वरण कमी आणि m ही राशी कमी असल्यास त्वरण जास्त.

बलाचा परिणाम (\vec{a}) किती व्हावा हे ठरवणारी, वस्तुमान m ही राशी, जडत्व किती असावे हे ठरवते. जडत्वमूलक वस्तुमान!



2. ओहमचा नियम आहे $V = R I$. V या विद्युतचालक बलाने (EMF) किती विद्युतधारा I निर्माण व्हावी हे रोध R ही राशी ठरवते. “ R ” हे विद्युत परिपथाचे जडत्व आहे.
3. घूर्णन-गती (Revolution) च्या बाबतीत प्रयुक्त झालेल्या Torque मुळे किती परिवलन त्वरण α निर्माण होईल याचा नियम, $T = I \alpha$ असा आहे. यात $I =$ Rotational Inertia ही राशी परिवलनाचे जडत्व ठरवते.
4. एखाद्या वस्तूला आपण त्याच्या जडत्वापेक्षा जास्त बल लावून ढकलले तर त्याला गती प्राप्त होते. हे विधान थोडेसे चुकीचे आहे, कारण वस्तू आणि जमीन यांच्यात घर्षणबल काम करते आहे. प्रयुक्त बलाने घर्षणबलावर मात केली तर वस्तू गतीमान होईल.
- ही वस्तू जर बर्फाच्या पृष्ठभागावर ठेवली, तर त्याला हलवण्यासाठी फारच माफक बल लागेल. (वस्तुमान तेच)
5. पेला, त्यावरील पोस्टकार्ड व नाणे ह्या प्रयोगात एका गोष्टीची नोंद घ्यायला हवी. पोस्टकार्डाला टिचकी मारून दिलेले बल नाण्यावर प्रयुक्त होत नाही. जर ते नाणे पाण्यात भिजवून ओलेच कार्डावर ठेवले तर टिचकीनंतर कार्डाबरोबर नाणेही पेल्याबाहेर पडेल. कुठल्याही गतीमान अवस्थेच्या संदर्भात आपल्याला “घर्षणबलाचा” विचार करावा लागतो. पृथ्वीवरील कोणत्याही हालचालीस गुरुत्वबलापासून सुटका नाही. (पण हे मात्रेने स्थिर व अधोदिशेला असते.) तसेच अगदी नगण्य मात्रेपासून बऱ्यापैकी मात्रेच्या घर्षणबलापासून सुटका नाही.



गुरुत्वबलाइतकेच प्रतिक्रिया बल, त्यामुळेच ठोकळा स्थिर असतो. ठोकळा हलवण्यासाठी बल लावले की या दोन्ही वस्तूंचे एकमेकांत गुंतलेले (अडकलेले) भाग घर्षणबल निर्माण करतात आणि हालचालीस विरोध करतात.

प्रयुक्तबलाइतके घर्षणबल निर्माण झाले तर ठोकळा हालत नाही. पण प्रयुक्त बल घर्षण बलापेक्षा जास्त झाले की ठोकळा हलतो. बर्फाळ पृष्ठभागावर निर्माण होणारे घर्षणबल अगदी कमी असते त्यामुळे अगदी थोडेसे बल विस्थापना घडवते. पण बर्फावर गतीमान झालेला ठोकळा शेवटी थांबतो. कारण त्याच्यावर हवेचे घर्षणबल काम करीत असते.

घर्षणबलाचा स्रोत कोणता?

1. विस्थापीत वस्तूवर विस्थापनाच्या विरुद्ध दिशेने होणारे हवेच्या रेणूंचे आघात.
2. पाण्याच्या बाबतीत विस्थापनेच्या विरुद्ध दिशेने होणारे पाण्याच्या रेणूंचे आघात अधिक विस्थापित वस्तू व संपर्कातले पाण्याचे रेणू यामधील विद्युतचुंबकीय आकर्षण.
3. स्थायूंच्या बाबतीत एकमेकांत गुंतलेले अडथळे तोडमोड करून दूर करण्यासाठीचे यांत्रिकबल व दोन्ही पृष्ठभागांवरील अणुरेणूंचे विद्युतचुंबकीय आकर्षणबल.

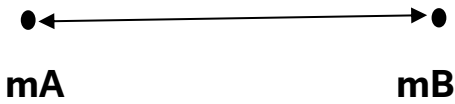


4. आपण चालताना जमीन आणि पावले यांच्यातील घर्षणबलाचा उपयोग करून जमिनीला मागे ढकलतो. हे जमिनीचे मागे हटणे इतके सूक्ष्मतरंग असते की ते मोजता येणार नाही. जमिनीचे प्रतिक्रियाबल आपल्याला पुढे लोटते.

घोडागाडी ही एक एकसंध वस्तू आहे. घोड्याची पावले जमिनीला मागे लोटतात व त्याचे प्रतिक्रियाबल घोडागाडीला पुढे लोटते. बर्फाळ जमिनीवर घर्षणबल फारच कमी असते, त्यामुळे आपले चालणे किंवा घोडागाडी चालवणे फारच अवघड असते. इथे आपण प्रतिक्रियाबल हा शब्द वापरला आहे. हाच धागा आपल्याला न्यूटनच्या तिसऱ्या नियमाकडे नेतो. त्याआधी आपण न्यूटनचा गुरुत्वबलाचा नियम काय आहे ते पाहू.

वस्तुमान हे गुरुत्वबलाचा स्रोत (**Source**) आहे. **mA** आणि **mB** ही दोन वस्तुमाने एकमेकांपासून **R** या अंतरावर असतील तर त्यांच्यामध्ये परस्पर आकर्षणबल असते व ते

$F = G (mA \times mB) / R^2$ एवढे असते. इथे **G** हा गुरुत्वीय स्थिरांक आहे.



mA हे वस्तुमान **mB** या वस्तुमानावर \leftarrow एवढे आकर्षणबल प्रयुक्त करते. हिला क्रिया म्हणू. **mB** हे वस्तुमान **mA** या वस्तुमानावर तेवढेच बल विरुद्ध दिशेने प्रयुक्त करते. **F** प्रतिक्रिया

$$\leftarrow \mathbf{F} = - \mathbf{F} \rightarrow$$

न्यूटनचा तिसरा नियम :- जेव्हा एखादी वस्तू **A** ही दुसरी वस्तू **B** हिच्यावर \rightarrow एवढे बल प्रयुक्त करते, तेव्हा वस्तू **B** ही वस्तू **A** वर तेवढेच बल विरुद्ध दिशेने \leftarrow प्रयुक्त करते. पहिल्या बलास क्रिया म्हटले तर दुसरे विरुद्ध बल ही प्रतिक्रिया होय.



1. गुरुत्वबलाचा नियम हा क्रिया प्रतिक्रिया बलाचे म्हणजेच तिसऱ्या नियमाचे आदर्श उदाहरण आहे.
2. तुम्ही जर गोळाफेकीचा गोळा पूर्व दिशेला फेकला तर तुम्हाला फारसा परिणाम जाणवत नाही. कारण गोळ्याने तुमच्यावर प्रयुक्त केलेले बल जमिनीचे घर्षण बल व तुमचे स्नायू बल यामुळे निष्कृत होते. पण बर्फाळ पृष्ठभागावर उभे राहून जर तुम्ही गोळा फेकलात तर गोळ्याने प्रयुक्त केलेले प्रतिक्रिया बल तुमची पश्चिम दिशेला विस्थापना करते.
3. रॉकेट स्थिर आहे. जेव्हा रॉकेटच्या इंजिनात ज्वलन होईल तेव्हा प्रचंड विस्फारण (**Expansion**) झालेला वायू रॉकेटवर ऊर्ध्वदिशेला बल प्रयुक्त करील. वर जाणारे रॉकेट प्रतिक्रिया बलाच्या आधारे वायूचा खालच्या दिशेला निकास (**Exhaust**) करेल.
4. कोठलीही आस्थापना (**system**) ही वेगवेगळ्या वस्तूंची बनलेली असली आणि ती बाहेरील बलांपासून मुक्त - अलिप्त (**Isolated**) असेल तर अशा आस्थापनेचा संवेग स्थिर असतो.

संवेग अक्षयतेचा नियम - Law of Conservation of Momentum

संवेग स्थिरतेच्या नियमापासून क्रिया प्रतिक्रिया बलाचा नियम सिद्ध करता येतो. किंवा क्रिया प्रतिक्रिया नियमापासून संवेग अक्षयतेचा नियम सिद्ध करता येतो.

म्हणजे न्यूटनचे तीन वेगवेगळे गतीविषयक नियम हे एकमेकांमध्ये गुंतलेले आहेत, पूर्णपणे वेगळे नाही.