शोधांच्या कथा: ८

विद्युत्शक्ती

आयझॅक आसिमॉव्ह

अनुवाद: सुजाता गोडबोले

१ घर्षण आणि आकर्षण

सुमारे २५०० वर्षांपूर्वी आता आपण ज्याला तुर्कस्थान म्हणतो त्या देशाच्या पश्चिम किनाऱ्यावर विद्युत्शक्तीच्या गोष्टीची प्रथम सुरवात झाली.

तिथे मॅग्नेशिया नावाचे एक शहर होते आणि तिथले लोक ग्रीक भाषा बोलत असत. गावाजवळच मेंढपाळाचा एक मुलगा आपल्या शेळ्या-मेंढ्या राखत असे. दगड धोंड्यातून मार्ग काढण्यासाठी तो एक लोखंडी टोक असलेली काठी वापरे, असे सांगितले जाते.

एक दिवस, त्याच्या काठीचे टोक एका दगडाला टेकले असता ते थोडेसे चिकटले. दगडावर काही चिकट पदार्थ पडला होता का? त्याने बोट लावून पाहिले. तिथे तर काहीच चिकट नव्हते. मात्र काठीच्या लोखंडी टोकाशिवाय इतर काही तिथे चिकटत नव्हते. या विचित्र दगडाची गोष्ट या मुलाने इतरांना सांगितली.

त्याच भागात थेल्स नावाचा एक विद्वान गृहस्थ रहात असे. आजकाल आपण त्याला शास्त्रज्ञच म्हंटले असते. त्याने मॅग्नेशियातल्या या दगडाची गोष्ट ऐकली आणि तसा एक दगड मागवून घेतला. तो फक्त लोखंडी गोष्टीच आकर्षून घेत असे, इतर काही नाही.

थेल्सने त्या गावाच्या नावावरून याला 'मॅग्नेटिक' दगड असे नाव दिले. आपण त्याला 'मॅग्नेट' म्हणजे, मराठीत 'लोहचुंबक' असे म्हणतो. दगडासारखी निर्जिव वस्तू, एखादी गोष्ट आकर्षित करून आपल्याकडे कशी काय ओढून घेत असेल याचा थेल्स विचार करू लागला. फक्त लोखंडच का आकर्षिले जात असेल याचाही तो विचार करू लागला. इतर कशात ही विचित्र शक्ती असेल का? त्याने इतर पदार्थांचीही चाचणी घेतली. काचेसारख्या एका सोनेरी रंगाच्या द्रव्याचीही (ॲम्बर) त्याने अशी चाचणी केली. मराठीत आपण त्याला 'अंबर' म्हणतो पण ग्रीक भाषेत त्या पदार्थाला 'इलेक्ट्रॉन' असे म्हणतात.

या अंबर नावाच्या द्रव्याने लोखंडाला जवळ ओढले नाही. तथापि, या द्रव्याला एक छानसा वास असतो आणि त्यावर बोटे चोळली तर तो वाढतो. थेल्सने बहुधा त्यावर बोटे घासली असतील, आणि त्यानंतर अंबर काही गोष्टी आकर्षून घेऊ लागला असे त्याच्या लक्षात आले. प्रत्यक्षात, अनेक लहान लहान गोष्टी त्याने आकर्षून घेतल्या- कापसाचे लहान पुंजके, दोरा, पिसे आणि लाकडाच्या लहानशा ढलप्या देखील. लोहचुंबक काही असे करत नसे. घासलेल्या अंबरमधे एक वेगळ्याच प्रकारचे आकर्षण असले पाहिजे.

हे का झाले असेल हे काही थेल्सला समजले नाही, पण त्याने काय केले होते ते मात्र त्याने लिहून ठेवले. इतरांनी हे वाचले आणि त्याच्या प्रयोगांचा विचार केला.

लोहचुंबकाचे दगड उपयोगी होते असे लोकांच्या लक्षात आले. लोखंडी सुई जर लोहचुंबक दगडावर घासली तर ती देखील लोहचुंबक बनते आणि लोखंडाचे तुकडे आकर्षून घेते. पाण्यात एखाद्या बुचावर जर अशी सुई तरंगत ठेवली, किंवा एखाद्या दांड्यावर फिरती ठेवली, तर ती अशा तऱ्हेने फिरते की तिचे एक टोक उत्तर दिशा दाखवते. जेव्हा जमिन दृष्टीपथात नसते, तेव्हा खलाशी आपल्या प्रवासाची दिशा समजून घेण्यासाठी अशा तऱ्हेच्या तरत्या सुईचा उपयोग करतात.

उत्तर दिशा दर्शवणाऱ्या अशा लोहचुंबकीय सुयांना 'होकायंत्र' (कॉम्पस) असे म्हणतात. इ.स. १४०० च्या सुमारास युरोपमधले दर्यावर्दी समुद्र पार करण्यासाठी आणि दूरच्या देशांच्या शोधासाठी यांचा वापर करत असत. १४९२ साली, ख्रिस्तोफर कोलंबसाच्या जहाजावर जर होकायंत्रे नसती, तर अमेरिकेला पोचणे त्याला खूपच कठिण झाले असते.

पण घासलेल्या अंबराचे पुढे काय झाले? त्याचा काही फारसा उपयोग दिसला नाही आणि त्याच्याकडे कोणी विशेष लक्षही दिले नाही.

१५७० सालच्या सुमारास विल्यम गिल्बर्ट नावाच्या इंग्रज संशोधकाने लोहचुंबकांवर संशोधन करायला सुरवात केली. त्याच्या मनात अंबरसंबंधीही प्रश्न होतेच. घासल्यावरच अंबर वस्तूंना आकर्षून का घेत असेल? त्यात विशेष असे कोणते गुणधर्म असतील?

अंबरचा रंग इतका सुंदर होता की बऱ्याच वेळा दागिने बनवण्यासाठी त्याचा उपयोग केला जात असे. इतर दागिने देखील अशा तऱ्हेने घासले तर त्यांच्यातही ही आकर्षण शक्ती येईल का? गिल्बर्ट ने इतर काही दागिने घासून पाहिले असता, ते देखील हलक्या वजनाच्या वस्तू आकर्षून घेतात असे त्याला आढळले. उदाहरणार्थ, हिंरे, नीलमणी आणि पुलक म्हणजे दुधाळ रंगाचे एक मौल्यवान रत्न हे देखील अंबरप्रमाणेच वस्तू आकर्षून घेतात असे त्याच्या लक्षात आले. इतर काही सर्वसामान्य स्फटिक जरी दागिन्यांसाठी वापरात नसले तरी त्यांच्यातही हा गुणधर्म होता.

ग्रीक भाषेत अंबर ला 'इलेक्ट्रॉन' आणि लॅटिनमधे 'इलेक्ट्रम' म्हणतात हे गिल्बर्टला माहित होते. म्हणून घर्षण केले असता ज्यात वस्तू आकर्षित करण्याचा गुणधर्म येतो, त्या सर्वांना त्याने 'इलेक्ट्रिक्स' असे नाव दिले. अंबरप्रमाणेच या सर्वात हा गुणधर्म येतो हे दाखवण्यासाठीच त्याने हा शब्द वापरला.

पण प्रत्यक्ष त्या आकर्षणाचे नाव काय? ज्यामुळे एखादा लहानसा कागदाचा कपटा रबरासारख्या अंबरला चिकटून बसतो त्या विचित्र शक्तीला काय नाव द्यावे? साधारणपणे

१६७० सालाच्या सुमारास वॉल्टर चार्ल्टन या इंग्रज गृहस्थाने त्याला 'इलेक्ट्रिसिटी' (विद्युत) असे नाव दिले.

या सुमारास युरोपमधील लोकांना निसर्गासंबंधी अधिकाधिक कुतुहल वाटू लागले होते. त्यांना वेगवेगळे प्रश्न पडत होते आणि वस्तूंवर निरनिराळे संस्कार करून काय होते याचेही ते प्रयोग करून पाहू लागले.

उदाहरणार्थ, अंबर घासले असता ते हलक्या वस्तू आकर्षून घेते. ते आणखी घासले तर काय होईल? हे आकर्षण अधिक वाढेल का? अंबर मधे अधिकाधिक विद्युत जमा होईल का? ऑटो वॉन गेरिक या जर्मन शास्त्रज्ञाने हा प्रयोग करून पाहिला. अंबरच्या एका तुकड्यावर त्याने एक कापडाचा तुकडा घासता येईल तितक्या जोरात घासला. मग जेव्हा हे अंबर त्याने आपल्या चिमटीत पकडले, तेव्हा त्यातून त्याला तडतडण्याचा बारीक आवाज ऐकू आला. जर अंधारात हे अंबर चिमटीत धरले, तर प्रत्येक तडतडण्याच्या आवाजाबरोबर अगदी छोटासा प्रकाशही दिसून येई.

घर्षणाने उत्पन्न झालेली सर्व विद्युत कदाचित अंबर मधे मावत नसेल. कदाचित यातील काही विद्युत परत बाहेर पडत असेल आणि त्यातूनच आवाज आणि उजेड येत असेल.

परंतू हे तडतडण्याचे आवाज इतके बारीक होते आणि उजेडाचे झोत इतके सूक्ष्म होते की गेरिक त्यामुळे अधिर झाला. हे प्रयोग जर पुढे चालू ठेवायचे असले तर अंबरमधे आणखी विद्युत असणे आवश्यक होते. त्यासाठी त्याला अंबरच्या एका मोठ्या तुकड्याची जरूर होती म्हणजे त्यात अधिक वीज साठवता येईल. अंबरचे मोठे तुकडे बरेच महाग होते म्हणून १६७२ साली गेरिकने गंधक (सल्फर) या एका पिवळ्या रंगाच्या द्रव्याचा वापर केला. हा पदार्थ देखील घासला असता त्यात हलक्या वस्तू आकर्षून घेण्याचा गुणधर्म येतो, पण हा अंबरपेक्षा स्वस्त होता.

बराचसा गंधक घेऊन त्याने त्याचे तुकडे केले आणि एका काचेच्या मोठ्या गोल भांड्यात ठेवले. त्याने हा काचेचा चंबू तापवला त्यामुळे चंबूतील गंधक वितळले. हा चंबू भरेपर्यंत तो त्यात आणखी गंधक घालत राहिला. मग त्याने एक लाकडाचा दांडा त्यात घातला आणि गंधक थंड होऊ दिले. परत घट्ट झालेल्या गंधकाने चंबू भरून गेला.

गेरिकने मग चंबू काळजीपूर्वक फोडला आणि काचेचे तुकडे काढून टाकले. आता त्याच्या डोक्याहूनही मोठा, दांडा असलेला गंधकाचा एक मोठा चेंडू त्याला मिळाला. एका लाकडी ढाच्यात त्याने हा चेंडू बसवला. चेंडूतील लाकडी दांड्यामुळे तो त्याला फिरवताही येत होता. चेंडू फिरत असताना दुसरा हात जर त्याच्यावर ठेवला, तर घर्षणाने गंधकात वीज भरली जाई.

आतापर्यंत कोणीच एका जागी एवढी वीज जमवली नव्हती. एकदा त्या गंधकाच्या चेंडूत वीज भरली गेली (किंवा गंधक विद्युतभारित झाले) की त्यातून तडतडण्याचे मोठे आवाज येत. त्यातून वीज बाहेर पडताना इतका उजेड पडे की तो दिवसा देखील दिसत असे.
वीज निर्मितीसाठी घर्षणाचे यंत्र तयार करणारा गेरिक हा पहिलाच संशोधक होता.

२ वाहक आणि विरोधक

गेरिकच्या प्रयोगाची माहिती मिळाल्यावर विजेच्या अभ्यासाबाबत अधिकाधिक कुतुहल निर्माण झाले.
स्टिव्हन ग्रे या इंग्रज गृहस्थाने स्वत: काही प्रयोग करून बघायचे ठरवले. वस्तू आकर्षून घेण्याचा गुणधर्म निर्माण करण्यासाठी त्याने काचेचा उपयोग केला, कारण मोठाले तुकडे वापरले तरी त्याची किंमत फार नव्हती.
अनेक वर्षांपूर्वी आपले प्रयोग करत असताना, काचेतही वस्तू आकर्षून घेण्याचा गुणधर्म असतो हे जर गेरिकला माहित असते, तर गंधकाच्या चेंडूभोवतालची काच त्याला फोडून टाकावी लागली नसती. गंधकाऐवजी तो केवळ काचही वापरू शकला असता.
ग्रे ने १ मीटर लांबीची काचेची एक पोकळ नळी घासली. त्या नळीने पिसे आकर्षून घेतली, त्यावरून त्यात विद्युतभार जमा झाला आहे असे दिसून आले.
या काचेच्या नळीच्या दोन्ही बाजूंची टोके उघडी असल्यामुळे, त्यात धूळ जाऊन प्रयोगात बाधा येईल असे ग्रे ला वाटले. म्हणून त्याने दोन्ही टोकांना बुचे लावली. त्यानंतर एक विचित्र गोष्ट त्याच्या लक्षात आली. त्या बुचांकडेही पिसे आकर्षित होत होती. बुचे काही त्याने घासली नव्हती, घासली होती केवळ काचेची नळी. जेव्हा काचेच्या नळीत घर्षणाने विद्युतभार निर्माण झाला, त्यावेळी तो बुचांपर्यंत पसरला असा त्याने निष्कर्ष काढला.
हे खरे असेल का? वीज अशा तऱ्हेने एका ठिकाणाहून दुसरीकडे जाऊ शकत असेल का? ही शक्यता पडताळून पहाण्यासाठी ग्रे ने आणखी काही प्रयोग केले. काचेच्या नळीच्या एका बाजूच्या बुचात त्याने एक १० सेंटीमीटर लांबीची काडी घातली. नळीच्या दुसऱ्या टोकाला त्याने एक हस्तीदंती चेंडू ठेवला.
त्यानंतर त्याने फक्त काचच घासली. हे त्याने अत्यंत काळजीपूर्वक, बुचे, काडी किंवा चेंडू या कशालाही स्पर्श देखील न करता केले. तरीही काच घासल्यानंतर हस्तीदंती चेंडूला देखील पिसे चिकटली. आता शंकेला जागाच नव्हती, वीज एका ठिकाणाहून दुसरीकडे जाऊ शकत होती.

पाणी आणि हवा रिकाम्या नळीतून असा प्रवास करतात. आपण त्याला 'वहाणे' किंवा 'वहन' असे म्हणतो. कोणताही द्रव पदार्थ अथवा वायु वाहू शकतो. नदी म्हणजे वहाणारे पाणी, तर वारा म्हणजे वहाणारा वायु. लॅटिन भाषेतील 'वहाणे' या अर्थाच्या एका शब्दावरून द्रव पदार्थ अणि वायु यांना इंग्रजीत 'फ्लुइड' असे म्हणतात.

वीज ही पदार्थांतून वाहू शकते असे ग्रे ने दाखवून दिले होते. म्हणजे वीज हे देखील एक फ्लुइड(द्रव)च होते. त्यानंतर लोक याला 'विद्युत द्रव' (इलेक्ट्रिक फ्लुइड) असेच म्हणू लागले.

यानंतर वीज कुठवर वाहून जाऊ शकते हे पहाण्याचा ग्रे ने प्रयत्न केला. हस्तीदंती चेंडू त्याने काचेच्या नळीला लावलेल्या बुचाला एका दोरीने टांगून ठेवला. काचेची नळी घासली असता, अजूनही त्या चेंडूकडे पिसे आकर्षित होत होती. या दोरीची लांबी वाढवत वाढवत ९ मीटरपर्यंत केली तरीही पिसे त्याकडे आकर्षित होतच होती.

ग्रे ला हे अंतर अजून वाढवून पहायचे होते, पण ९ मीटर लांबीची दोरी वापरतानाच तो आपल्या घराच्या छपरावर उभा राहिला होता. मग त्याला आणखी एक कल्पना सुचली. ही दोरी त्याने आपल्या कार्यशाळेच्या छताच्या एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत बांधायचे ठरवले. दोरी छताला बांधण्यासाठी त्याने खिळ्यांचा वापर केला.

अनेक वेढे घेऊन त्याने १०० मीटरपेक्षाही अधिक दोरी वापरली आणि त्याची दोन्ही टोके छतापासून लोंबत ठेवली. एका टोकाला त्याने आपली काचेची नळी जोडली, आणि दुसऱ्या टोकाला बांधला आपला हस्तीदंती चेंडू.

आता मात्र काचेची नळी कितीही घासली तरी चेंडूकडे पिसे आकर्षित होत नव्हती. अचानकच विजेचा प्रवाह थांबलेला दिसत होता. दोरी फार लांब असल्याने हे झाले असेल का? अखेर विजेच्या प्रवाहची मर्यादा गाठली गेली होती का?

पण तसे दिसत नव्हते, कारण आता कितीही घासले तरी काचेच्या नळीकडे देखील पिसे आकर्षित होत नव्हती. म्हणजे केवळ विजेचा प्रवाह थांबला होता असे नसून, त्यात वीजच नव्हती. त्याच्या कोणत्या तरी कृतीमुळे त्याचा सर्व प्रयोगच फसत होता. पूर्वी करत नसलेली अशी कोणती गोष्ट तो आता करत होता?

आतापर्यंत, तो दोरी फक्त लोंबत ठेवत होता. पण आता मात्र त्याने ही दोरी खिळ्यांच्या सहाय्याने छताला अडकवली होती. हा खिळ्यांचा प्रताप असेल का? कदाचित विजेचे द्रव खिळ्यातून वाहून, छतातून बाहेर मोकळ्या हवेत निघून गेले असेल का? खिळे खूप जाड असल्यामुळे त्यातून वीज चटकन बाहेर पडली असेल का? यापेक्षा काहीतरी बारीक वस्तू वापरून पाहिली तर?

ग्रे कडे रेशमी दोरा होता. तो बारीक, पण चांगला बळकट होता. त्याने प्रत्येक खिळा हा रेशमी दोऱ्यात गुंडाळला. प्रत्येक रेशमी दोऱ्याचे दुसरे टोक दोरीला बांधले. आता दोरीतून जाणारे वीजद्रव प्रथम या बारीक रेशमी धाग्यातून गेल्याशिवाय खिळ्यापर्यंत पोचू शकत नव्हते. रेशमी धागा जर वीज द्रवाच्या प्रवाहासाठी फार बारीक असेल, तर त्याला दोरीतच रहावे लागेल आणि प्रयोग नीटपणे पार पडू शकेल.

तसे केल्यावर मात्र प्रयोग यशस्वी झाला. वीजद्रव ३० मीटर लांबीच्या दोरीतून दुसऱ्या टोकापर्यंत गेले. दोरीच्या एका टोकाची काचेची नळी घासली असता, दुसऱ्या टोकाच्या हस्तीदंती चेंडूकडे पिसे आकर्षित होत होती.

त्याने दोरी अधिकाधिक वाढवत नेली, अखेर ती इतकी जड झाली की दोरी पेलण्यासाठी बांधलेला रेशमी धागा तुटला. दोरी पेलण्यासाठी, रेशमी धाग्याच्या ऐवजी पितळी तार वापरायचे ग्रे ने ठरवले. आता परत विजेचे द्रव नाहीसे झाले. हे द्रव पितळी तारेतून नाहीसे झाले असले पाहिजे. तार किती बारीक आहे यापेक्षा ती कशाची बनवलेली आहे हे अधिक महत्वाचे असणार असे ग्रे ला वाटले.

आणखी काही प्रयोग करून पाहिल्यावर, विजेचे 'वहन' इतर कोणत्याही पदार्थापेक्षा धातू मधून सहज आणि चांगल्या तऱ्हेने होते असे ग्रे च्या लक्षात आले. त्याच कारणाने, धातू किंवा इतर ज्या पदार्थातून विजेचे वहन सहजपणे होते त्याला 'विजेचे वाहक' (कंडक्टर) असे म्हणतात. रेशमासारख्या ज्या पदार्थातून विजेचे वहन मुश्किलीने होते त्यांना 'वीज विरोधक' (नॉन कंडक्टर) असे म्हणतात.

अंबर, काच, गंधक अशासारखे पदार्थ घासले असता, त्यात वीज कशी उत्पन्न होत असे हे आता ग्रे च्या लक्षात आले. ते सर्वच वीज विरोधक होते. एकदा ते घासले की त्यांच्यात तयार होऊन भरून राहिलेली वीज कुठेच जाऊ शकत नसे.

घर्षणाने निर्माण झालेले विद्युत द्रव धातूच्या तुकड्यासारख्या एखाद्या विजेच्या वाहकातून, त्याच्या संपर्कात आलेल्या कोणत्याही पदार्थात वाहून जाऊ शकत होते. ते इतके चटकन आणि सहजपणे वाहून जात असे, की धातूत काहीच शिल्लक रहात नसे. धातू जर वीज विरोधकाच्या संपर्कात आला, तर विरोधकात असलेले सर्व विद्युत द्रव तो आपल्याकडे खेचून घेत असे.

१७३१ साली रबराच्या (रेझिन) मोठाल्या तुकड्यांवर धातूचे तुकडे ठेवून ग्रे ने आपला सिद्धांत पडताळून पाहिला. रेझिन हा पदार्थ बराचसा अंबर सारखाच असून वीज विरोधक आहे. धातूवर हात घासण्याऐवजी त्याने रेशमी रुमाल त्यावर घासला. रेशीमही वीज

विरोधकच आहे. धातूशी फक्त रबर, रेशीम आणि हवा या तीनही वीज विरोधक द्रव्यांचाच संपर्क झाला.

घर्षणाने धातूमधे वीज निर्माण झाली आणि ती या वीज विरोधकांतून नाहीशी होऊ शकली नाही. ती धातूतच टिकून राहिली आणि धातूकडे पिसे आकर्षित झाली.

रेशमाच्या बळकट दोरांनी ग्रे ने एका मुलाला छताला बांधून ठेवले आणि त्याच्या हातावर ही रेशीम घासले. थोड्या वेळाने त्या मुलाला आणि त्याच्या कपड्यांनाही पिसे चिकटली.

कोणतीही गोष्ट घासली तर त्यात विद्युत द्रव भरता येते हे ग्रे ने दाखवून दिले.

३ द्रव पदार्थ आणि घट

ग्रे च्या प्रयोगांची बातमी लवकरच युरोपच्या इतर भागातही पोचली. फ्रान्समधे चार्ल्स फ्रॅन्सिस द्युफे नावाच्या गृहस्थाने आपले स्वत:चे काही प्रयोग करायला सुरवात केली.

१७३३ साली त्याने बुचाचा एक लहानसा तुकडा अगदी पातळ अशा सोन्याच्या वर्खात गुंडाळला. तो एका रेशमी दोऱ्याने छताला टांगला. विद्युतभारित कांडी त्या बुचाला टेकवून ते बूचही विद्युतभाराने भरले आणि सोन्याने मढवलेले बूच हे चांगले वीजवाहक असल्यामुळे पृष्ठभागावरील सोन्यात ही वीज सर्वत्र सारख्या प्रमाणात पसरली. बूच आणि सोने याला फक्त रेशीम आणि हवेचाच स्पर्श होत होता त्यामुळे वीज यातून बाहेर पडू शकत नव्हती.

द्युफे ला जर यातून वीज बाहेर पडायला हवी असेल, तर त्याला एक धातूचे टोक टेकवणे पुरेसे होते. विद्युत द्रव झटकन धातूच्या तुकड्यात येईल आणि बुचात वीज रहाणार नाही.

द्युफे ने नंतर आणखी एक बुचाचा तुकडा घेतला, त्याच्यावरही पहिल्याप्रमाणेच प्रक्रिया करून तो पहिल्या तुकड्याजवळच छताला टांगला. आता बुचाचे हे दोन्ही तुकडे एकमेकांपासून काही सेंटीमीटरच्या अंतरावर लोंबत होते. त्या खोलीत कुठूनही वाऱ्याचा झोत येणार नाही याची त्याने काळजी घेतली, म्हणजे हे दोन्ही तुकडे सरळ रेषेत लोंबत राहिले. बुचाचा एकच तुकडा जर विद्युतभारित केला तर तो दुसरा तुकडा आकर्षून घेईल असे त्याला वाटले.

एक काचेची नळी रेशमाने घासून तिच्यात त्याने विद्युत द्रव भरले. ही नळी त्याने एका सोन्याने मढवलेल्या बुचाला टेकवली आणि त्यातील काही विद्युत द्रव बुचात गेले.

त्याची अपेक्षा होती तसेच घडले. विद्युतभारित बूच आणि दुसरे साधे बूच यांच्यात आकर्षण निर्माण झाले. ही दोन्ही बुचे सरळ रेषेत लोंबत रहाण्याऐवजी ती एकमेकांकडे झुकली. विद्युत आकर्षणामुळे ती एकमेकांकडे ओढली जात होती.

पण समजा, जर दोन्ही बुचे विद्युतभारित असतील तर? मग दोन्ही एकामेकांना आकर्षून घेतील. यामुळे हे आकर्षण दुप्पट होईल, ही दोन्ही बुचे एकमेकांना आकर्षून घेत असल्याने ती अधिक एकमेकांजवळ येतील आणि त्यांच्यातील कोन वाढेल.

द्यु फे ने तसे करून पाहिले. दोन बुचे एकमेकांजवळ सरळ रेषेत लोंबती ठेवून त्याने प्रयोगाला सुरवात केली. मग काचेची कांडी घासून प्रथम एका बुचाला टेकवली आणि नंतर दुसऱ्याला. आश्चर्य म्हणजे, या दोघातील आकर्षण वाढले नव्हते. दोन्ही बुचे झुकली होती, पण विरुद्ध बाजूंना; ती एकमेकांना दूर ढकलत होती.

हे एक कोडेच होते. वीज अशा प्रकारे कार्य करते का? की तो वापरत असलेल्या काचेतच काही दोष होता? यासाठी काही वेगळाच पदार्थ वापरणे जरूर होते का? त्याने एका रबरासारख्या द्रव्याच्या कांडीचा वापर केला आणि रेशमाऐवजी लोकर वापरली कारण रबरावर लोकरीचा जास्त चांगला उपयोग होतो. रबराची कांडी विद्युतभारित झाल्यावर ती त्याने दोन्ही बुचांना टेकवली. त्याबरोबर ती दोन्ही बुचे एकमेकांपासून दूर गेली. म्हणजे ती एकमेकांना दूर ढकलत होती.

द्युफेने आणखी एक गोष्ट केली. एका काचेच्या कांडीवर रेशीम घासून ती त्याने एका बुचाला टेकवली. मग एका रबराच्या दांडूवर लोकर घासून तो दांडू दुसऱ्या बुचाला लावला. यावेळी मात्र त्या दोन्हीत आकर्षण होते. बुचांचे हे दोन्ही विद्युतद्रवाने भरलेले तुकडे एकमेकांना आकर्षून घेत होते.

वीज द्रव दोन प्रकारचे असले पाहिजे असा द्युफे ने निष्कर्ष काढला. काच घासल्यावर त्यात निर्माण होणारे विद्युत द्रव एका प्रकारचे असेल. आपण त्याला 'काचेतील विद्युत द्रव' असे नाव देऊया. आणि रबरात जमणाऱ्या विद्युत द्रवाला आपण 'रबरातील विद्युत द्रव' असे म्हणूया. जर बुचाच्या दोन्ही तुकड्यात एकाच प्रकारचे विद्युत द्रव भरले, तर ते एकमेकांना दूर ढकलतात. पण दोन्हीत जर वेगवेगळे द्रव भरले तर मात्र ते एकमेकांना आकर्षून घेतात.

हे खरे आहे का हे पडताळून पहाण्यासाठी द्युफे ने आणखी काही प्रयोग केले. एक विद्युतभारित काचेची कांडी बुचाला टेकवून त्याने त्यात काचेतील विद्युतद्रव भरले. मग ती काचेची कांडी दूर केली आणि अगदी सावकाश परत बुचाच्या अधिकाधिक जवळ आणली. अर्थातच बूच आणि काचेची कांडी या दोन्हीत एकाच प्रकारचे विद्युत द्रव असल्याने त्यांनी एकमेकांना दूर ढकलले. बुचाचा तुकडा काचेच्या कांडीपासून दूर गेला.

त्याऐवजी त्याने जर विद्युतभारित रबराचा दांडू त्या बुचाजवळ आणला, तर मात्र त्याने बूच आकर्षून घेतले. ते बूच रबराच्या दांडूकडे झुकले.

जर त्याने त्या बुचात पहिल्यांदा रबरातील विद्युत द्रव भरले, तर मात्र सर्व काही उलट झाले. रबराच्या दांडूपासून बूच लांब गेले आणि काचेच्या कांडीकडे आकर्षित झाले.

ड्युफे ने नंतर इतर काही द्रव्ये घेऊन आणखी काही प्रयोग केले. जेव्हा त्याने एखाद्या पदार्थात विद्युत द्रव भरले, तेव्हा त्याची प्रतिक्रिया काचेतील विद्युत द्रव भरल्याप्रमाणे किंवा रबरातील विद्युतद्रव भरल्याप्रमाणेच झाली. याचा अर्थ, विद्युत द्रव फक्त दोन प्रकारचेच होते. त्यात तिसरा प्रकार नव्हता.

दरम्यानच्या काळात, विविध प्रयोगातून, आकाराने लहान वस्तूत मोठ्या प्रमाणात विद्युत द्रव भरण्याचे मार्ग सापडतच होते.

उदाहरणार्थ, १७४५ सालच्या सुमारास, आतून आणि बाहेरून अंशत: धातूच्या पातळ पत्र्याने मढवलेल्या घटांवर प्रयोग केले जात होते. या घटाच्या उघड्या तोंडावर एक बुच बसवलेले असे. पितळी साखळी जोडलेला एक पितळेचा दांडा बुचातून बाहेर येत असे. पितळी साखळी घटाच्या तळाशी, आतून मढवलेल्या धातूच्या संपर्कात येत असे.

विद्युतभारित काचेची कांडी जर बुचातून बाहेर आलेल्या पितळी दांड्याला टेकवली, तर काही विद्युत द्रव त्यातून घटाच्या आतील धातूमधे साठवले जाई. एकदा का ते आत गेले की काच आणि बूच हे दोन्हीही विजेचे 'विरोधक' (नॉन कंडक्टर) असल्याने ते त्यातून बाहेर पडू शकत नव्हते.

काचेची कांडी जर परत विद्युतभारित केली, तर आणखी काही विद्युतद्रव घटात भरता येई. अशा तऱ्हेने तो घट विद्युतभाराने पुरेपूर भरण्याइतके विद्युतद्रव त्यात साठवता येई.

अशा तऱ्हेच्या घटांचा प्रथम शोध लावणाऱ्यांमधे, पीटर वॅन मस्केनब्रोक हा एक डच प्राध्यापकही होता. हॉलंडमधल्या लेडेन विद्यापिठात तो काम करत असे, म्हणून या नव्या उपकरणाला 'लेडेन घट' असेच नाव देण्यात आले.

लेडेन घटात जितके विद्युत द्रव ठासून भरले असेल, तितकेच ते जोराने बाहेर पडू शके. एखाद्या पेटीत दाबून कपडे भरण्यासारखेच हे आहे. कपडे आत जितके ठासून भरले असतील, तितकाच त्यांचा पेटीच्या झाकणावर आतून दाब येतो. जर पेटीची कडी उघडली गेली, तर काही कपडे बाहेर पडतील. लेडेन घटात नेमकी हीच गोष्ट होते. तुम्ही त्यात जितके अधिक विद्युतद्रव भराल, तितकेच, काहीतरी झाल्यावर, त्यातील विद्युतद्रव सहजपणे जोरात बाहेर पडते.

ज्यांनी सुरवातीला या लेडेन घटावर प्रयोग केले, त्यांच्या असे लक्षात आले की एकदा घट पूर्णपणे विद्युतभारित झाला की तो धोकादायक बनू शकतो. बाहेर आलेल्या पितळी दांड्याला चुकून जरी हात लागला तरी त्यातून वीज झटकन बाहेर येऊन त्याला टेकलेल्या हातात जाते. मस्केनब्रोकने जेव्हा प्रथम असा घट बनवला, तेव्हा त्यात किती प्रमाणात विद्युत भार जमला आहे हे लक्षात न येताच त्याने त्याची चाचणी घेतली. जेव्हा त्याने पितळी दांड्याला हात लावला तेव्हा त्याला 'विजेचा धक्का'च बसला. तो बेशुद्ध पडला आणि दोन दिवस त्याला अंथरुणात झोपून रहावे लागले. त्यानंतर मात्र तो लेडेन घट खूपच काळजीपूर्वक हाताळू लागला.

जेव्हा इतर प्रकारे लेडेन घटातील वीज बाहेर पडे, तेव्हा मोठ्या प्रमाणात वीज बाहेर पडली तर काय होते हे लोकांना दिसू लागले. जर लेडेन घटातील वीज बारीक तारांमधे गेली, तर त्यातून बाहेर पडणाऱ्या विद्युत द्रवाने त्या तारा तापून, वितळून जात.

समजा, लेडेन घट अशा तऱ्हेने धरला आहे की त्यातून बाहेर येणारा पितळेचा दांडा एखाद्या धातूच्या तुकड्याजवळ आहे, तो जर त्याला टेकला, तर त्यातून वीज बाहेर पडेल. पण जर घट त्याला लागू दिला नाही, तर घट आणि धातूचा तुकडा यात एक हवेचा थर असेल. हवा ही 'विरोधक' आहे म्हणून घटातील वीज बाहेर जाऊ शकणार नाही.

जर घट आणि धातू आणखी थोडे एकमेकांजवळ आणले, तर त्या दोहोंच्यामधील हवेचा थर आणखी विरळ असेल. हवेचा थर जितका विरळ तितका तो कमी विरोधक असतो. अखेर विरोध करू शकण्या इतकीही हवा शिल्लक रहात नाही.

मग लेडेन घटातील वीज हवेतून आपला मार्ग काढून धातूपर्यंत पोचते. हवेतून जात असताना हवा तापते आणि प्रकाशित होते. तापलेली हवा प्रसरण पावते , मग परत मूळपदावर येते आणि त्यावेळी तिच्यातून आवाज येतो. लेडेन घटातून जेव्हा वीज निघून जाते त्यावेळी त्यातून मोठी ठिणगी उडते आणि मोठा आवाजही होतो.

४ धन आणि ऋण भार

विजेसंबंधीच्या प्रयोगांची बातमी अ‍ॅटलांटिक महासागर ओलांडून अमेरिकेतील ब्रिटीश वसाहत पेन्सिल्व्हानिया पर्यंत पोचली. बेंजामिन फ्रँन्कलिन या तिथे रहाणाऱ्या अमेरिकन गृहस्थांना लेडेन घट १७४७ साली इंग्लंडहून मिळाला होता. हे विद्युत द्रव कुठून येत असेल याचा ते विचार करू लागले. जर काचेच्या कांडीवर हात घासून त्यात वीज जमत असेल, तर ते घासलेल्या हातातून हे द्रव निघत असेल का? हातात ते कुठून आले? जमिनीतून ?

फ्रँन्कलिनने याची चाचणी करायचे ठरवले. मेणाच्या एका मोठ्या ठोकळ्यावर त्याने एका माणसाला उभे केले. मेण वीज विरोधक होते, म्हणजे जोपर्यंत त्या माणसाचा मेण आणि त्याच्याभोवतीची हवा याखेरीज इतर कशाशीही संपर्क येणार नाही तोपर्यंत त्याच्यात कुठूनही वीज येऊ शकणार नाही.

मेणावर उभ्या असलेल्या माणसाच्या हातात एक काचेची कांडी होती. त्याने नेहमीच्या पद्धतीने हात काचेवर घासले आणि काचेची कांडी विद्युतभारित झाली. छोट्या गोष्टी त्याच्याकडे आकर्षित झाल्या. ही वीज आली कुठून?

त्या माणसाकडूनच ती आली असणार. म्हणजे त्या माणसात कायमच वीज असणार पण काही तरी कारणाने ती दिसून येत नसणार. काचेची कांडी घासल्यावर ही वीज त्या कांडीत आली. पण मग त्या माणसाचे काय? विजेच्या कांडीत जमा झालेले द्रव त्याच्याकडून नाहीसे झाले असणार. याचा परिणाम काय झाला असेल?

याचा आणखी छडा लावण्यासाठी फ्रॅन्कलिनने आणखी एका माणसाला मेणाच्या दुसऱ्या ठोकळ्यावर उभे केले. पहिल्या माणसाने विद्युतभारित काचेची कांडी दुसऱ्या माणसाला लावली. विद्युत द्रव आता दुसऱ्या माणसात ओतले गेले. दुसरा माणूस विद्युतभारित झाला. त्याला पिसे चिकटली. त्याने आपले बोट जर एखाद्या विद्युत वाहक वस्तूजवळ नेले, तर त्यातून ठिणगी पडे आणि त्यानंतर मात्र त्याच्यात वीज शिल्लक रहात नसे. त्याच्यातील वीज नाहीशी होत (डिस्चार्ज) होती.

पण ज्या पहिल्या माणसाकडून दुसऱ्या माणसाला वीज द्रव दिले गेले होते त्याचे काय झाले? तो ही विद्युतभारित होता. त्याच्याकडेही पिसे आकर्षित होत होतीच. त्याच्याकडची वीजही नाहीशी होऊ शकत होती आणि त्यावेळीही ठिणगी उडत होतीच.

विशेष म्हणजे, या दोन लोकात वेगवेगळ्या तऱ्हेची वीज होती. दुसऱ्या माणसाला काचेच्या कांडीने विद्युतभारित केले होते, म्हणजे द्युफे च्या शब्दात सांगायचे तर त्याच्यात काचेतील विद्युत द्रव होते. पहिल्या माणसात रबरातील वीजद्रव होते. (बुचाचे छोटे तुकडे करून, काहींना काचेच्या कांडीने विद्युतभारित करून आणि राहिलेल्यांना रबराच्या दांडीने विद्युतभारित केले. त्यातील कोणते तुकडे कुठल्या माणसाकडे आकर्षित होतात आणि कोणाकडून दूर ढकलले जातात यावरून हे जाणून घेता येते.)

फ्रॅन्कलिनच्या मते परिस्थिती पुढीलप्रमाणे होती: प्रत्येक वस्तूत काही प्रमाणात विद्युत द्रव असतेच, पण त्याची वर्तणूक मात्र विद्युतभार नसल्याप्रमाणेच होते. त्याच्याकडे कोणत्याच गोष्टी आकर्षून घेतल्या जात नाहीत.

घर्षणाच्या क्रियेने काही विद्युत द्रव एखाद्या वस्तूतून निघून जाते, किंवा एखाद्या वस्तूत येते. मग त्या वस्तूत नेहमीपेक्षा अधिक किंवा नेहमीपेक्षा कमी विद्युत द्रव रहाते. यापैकी कोणत्याही परिस्थितीत त्या वस्तूचे गुणधर्म विद्युत द्रव असल्याप्रमाणे असतात. जर त्यात नेहमीपेक्षा अधिक विद्युत द्रव जमला असेल, तर त्याला फ्रॅन्कलिन ने 'धन भार' (पॉझिटिव्ह चार्ज) असे नाव दिले. जर त्यात नेहमीपेक्षा कमी द्रव असेल, तर त्याला ऋण भार (नेगेटिव्ह चार्ज) असे म्हंटले. जर दोन्ही वस्तूत धन भार असेल, तर त्या एकमेकांना दूर ढकलतात. प्रत्येक वस्तूत जरूरीपेक्षा अधिक विद्युत असल्यामुळे तिला दुसऱ्या वस्तूकडून अधिक विद्युत घेण्यात काहीच स्वारस्य नसते. त्याचप्रमाणे जर दोन्ही वस्तूत ऋण भार असेल तर देखील

त्या वस्तू एकमेकांना दूर ढकलतात. दोन्ही वस्तूत अगोदरच कमी वीज असल्याने कोणालाच आपल्याकडील वीज दुसऱ्याला द्यायची नसते.

पण जर एका वस्तूत धन भार असेल आणि दुसऱ्यात ऋण भार असेल, तर मात्र परिस्थिती वेगळी असते. धन भार असलेल्या वस्तूत दुसऱ्याला देण्यासाठी अधिक विद्युत द्रव आहे, आणि दुसऱ्यात नेहमीपेक्षा कमी विद्युत द्रव असल्याने त्याला अधिक द्रवाची जरूर आहे. म्हणून मग या दोन वस्तूत आकर्षण असते आणि त्या एकमेकांच्या संपर्कात आल्यावर धन भार असलेल्या वस्तूकडून हे द्रव, ऋण भार असलेल्या वस्तूत जाते. त्यानंतर दोन्ही वस्तूत नेहमीइतके, योग्य प्रमाणात विद्युत द्रव असल्याने कोणतीच वस्तू विद्युत भारित भासत नाही. दोन विरूद्ध भारांनी एकमेकांना निष्प्रभ करून टाकले जाते.

फ्रॅन्कलिन ने हे पडताळून पाहिले. एका माणसाला त्याने काचेची कांडी घासून नंतर ती दुसऱ्या माणसावर टेकवायला सांगितली. आता एका माणसाकडे अधिक विद्युत द्रव होते तर दुसऱ्याकडे ते कमी प्रमाणात होते. दोघेही विद्युतभारित होते – एकाकडे धन भार होता तर दुसऱ्याकडे ऋण भार .

या दोघांना त्याने हात पुढे करून त्यांची बोटे एकमेकांजवळ येतील अशा तऱ्हेने ठेवायला सांगितले. तेव्हा विद्युत द्रवाने एकाकडून दुसऱ्याकडे उडी मारली. त्या दोन्ही बोटांच्या दरम्यान एक ठिणगी उडाली. दोघांच्याही हातांना झिणझिण्या आल्यासारखे जाणवले. त्यानंतर मात्र दोघांच्यातही विद्युत भार नव्हता.

आता प्रश्न असा होता की, यापैकी कोणता भार धन होता आणि कोणता ऋण ? काचेवर रेशीम घासले असता, काचेत नेहमीपेक्षा अधिक विद्युत द्रव जमते की ते कमी होते? हे सांगण्याचा फ्रॅन्कलिन कडे काहीच मार्ग नव्हता म्हणून तो फक्त अंदाज बांधू शकत होता.

काच घासली असता, त्यातील विद्युत द्रव कमी होत असणार म्हणजे त्यात ऋण भार असणार असे त्याने ठरवले. याचाच अर्थ, रबराच्या दांड्यात वेगळ्या प्रकारचा म्हणजे धन भार असतो. इतर सर्व विद्युतभार हे काचेतील भार आणि रबरातील भार यांच्याशी तुलना करून, आणि त्यांची प्रतिक्रिया अजमावून, त्यावरून ते धन आहेत की ऋण आहेत हे ठरवले जाऊ लागले. (बऱ्याच वर्षांनंतर, शास्त्रज्ञांना जेव्हा फ्रॅन्कलिनच्या काळी माहित नसलेल्या चाचणीच्या नव्या पद्धती उपलब्ध झाल्या व त्याद्वारे या विषयातील अधिक सखोल माहिती उपलब्ध झाली, त्यावेळी फ्रॅन्कलिनचा अंदाज बरोबर नव्हता हे त्यांच्या लक्षात आले. काचेत नेहमी पेक्षा अधिक विद्युत द्रव होते आणि रबरात ते नेहमीपेक्षा कमी होते. अर्थात त्यामुळे फ्रॅन्कलिनच्या मूळ सिद्धांताचे महत्व कमी होत नाही.)

एकदा विद्युत द्रवाची कार्यपद्धती समजून आल्यावर लेडेन घटाचे काम कसे चालते हे फ्रॅन्कलिन सांगू शकला. एखाद्या विशिष्ठ प्रकारच्या पदार्थाच्या दांड्यात, तो घासला असता, फक्त एकाच प्रकारचा, म्हणजे धन किंवा ऋण भारच जमा होत असे. त्यात जितका अधिक भार भरला जाईल, तितकेच त्यात आणखी भार भरणे कठिण होई. काही वेळाने त्यात मावू शकेल इतका सर्व भार असे.

परंतू, लेडेन घटात आतल्या बाजूच्या धातूच्या थरात ऋण भार होता, तर बाहेरच्या बाजूचा थर धन भारित होता. दोन्हीच्या दरम्यान असलेल्या काचेने हे दोन्ही भार एकमेकांपासून दूर ठेवले जात असल्याने ते निष्प्रभ होत नव्हते. धातूच्या एका थरातील ऋण भार दुसऱ्या थरातील धन भाराला आकर्षून घेत होता, तर धन भार दुसऱ्यातील ऋण भाराला आकर्षून घेत होता. याचा परिणाम म्हणून धातूंच्या या दोन्ही थरातील एकत्रित भार त्याच आकाराच्या दुसऱ्या एखाद्या पदार्थापेक्षा अधिक होता.

त्यानंतर फ्रॅन्कलिन ने लेडेन घटातील विद्युतभार निघून जाताना त्यातून निघणाऱ्या ठिणगीचा आणि तडतडण्याच्या आवाजाचा विचार करायला सुरवात केली. त्याला यावरून आकाशातील ढगांच्या गडगडण्याची आणि विजा चमकण्याची आठवण झाली.

ढगांचे गडगडणे आणि विजा म्हणजे खरोखर काय असेल? कदाचित, वादळाची परिस्थिती निर्माण होत असताना, ढग आणि पृथ्वी हे एखाद्या प्रचंड आकाराच्या लेडेन घटाप्रमाणे असतील का? कदाचित ढगांमधे ऋण भार तयार होत असेल, आणि पृथ्वीत धन भार (किंवा याउलट होत असेल), आणि दोहोंच्या दरम्यान असलेली हवा विद्युत विरोधकाचे कार्य करत असेल. जेव्हा ढगात आणि हवेत पुरेसा भार जमत असेल, आणि तो भार निघून जाण्याची तातडीची गरज निर्माण होत असेल, त्यावेळी हे विद्युत द्रव हवेतून आपला मार्ग काढत असेल. त्यावेळी उत्पन्न होणाऱ्या ठिणगीला आपण विजा म्हणतो आणि तडतडण्याच्या प्रचंड आवाजाला ढगांचे गडगडणे.

विद्युतभार निघून जाण्यापूर्वी जमलेला भार प्रचंड मोठा असणार. आणि त्याच कारणाने निघून जाणारा भारही असाच प्रचंड असणार. एखाद्या घरातून जर इतका प्रचंड विद्युतभार निघून गेला, तर त्यातील उष्णतेने त्या घराला आग लागेल. एखाद्या माणसातून जर इतके विद्युत द्रव गेले तर त्याने तो माणूस मरण पावू शकेल.

१७५२ सालच्या जून महिन्यात, फ्रॅन्कलिन ने आपली कल्पना पडताळून पहाण्यासाठी अशा वादळी हवेत पतंग उडवून पहायचे ठरवले. पतंगाच्या लाकडी चौकटीला त्याने एक अणकुचीदार टोक असलेला धातूचा तुकडा बांधला आणि त्या धातूच्या तुकड्याला एक दोरी

बांधली. पतंगाच्या मांजाला त्याने एक दोरी बांधली आणि त्याच्या दुसऱ्या टोकाला बांधली एक धातूची किल्ली.

जर ढगांमधे वीज असेल, तर ती पतंगावरच्या धातूच्या दांड्यातून, ओल्या दोरीमार्फत दुसऱ्या दोरीपर्यंत येईल आणि मग त्यातून ती किल्लीपर्यंत पोचेल. ही वीज त्याला त्याच्या पर्यंत पोचायला नको होती, कारण त्या विजेच्या धक्क्याने तो मरण पावणे शक्य होते. म्हणून पतंगाच्या दोरीला त्याने एक रेशमी दोरी बांधली आणि ती हातात धरली. जोपर्यंत रेशमी दोरी कोरडी होती तोपर्यंत त्यातून वीज जाऊ शकत नव्हती. पतंग उडवत असताना आपण स्वत: छताखाली उभे रहाण्याचीही त्याने काळजी घेतली. (वास्तविक पाहता, वादळी हवामानात पतंग उडवणे फार धोक्याचे असते, आणि त्यात काही लोक मरणही पावले आहेत- तेव्हा तुम्ही मात्र असा प्रयोग करून पाहू नका!)

वादळी ढग जमले. थोड्या वेळाने, पतंगाच्या दोरीचे धागे, एकाच प्रकारच्या विद्युत भाराने भरले असल्याने, एकमेकांपासून दूर गेल्याप्रमाणे दिसत आहेत, असे फ्रॅन्कलिनच्या लक्षात आले.

फ्रॅन्कलिन ने हळूच आपले बोट दोरीच्या टोकाला बांधलेल्या किल्लीजवळ नेले. किल्ली आणि त्याचे बोट यांच्या दरम्यान एक ठिणगी उडाली आणि त्याच्या बोटाला झिणझिण्या आल्या. प्रयोगशाळेत विद्युत द्रव निघून जाताना जशी ठिणगी उडे, आणि झिणझिण्या येत, थेट तसाच हा अनुभव होता.

विद्युतभारित नसलेला एक लेडेन घट त्याने आपल्या बरोबर आणला होता. दोरीच्या टोकाची किल्ली त्याने पितळेच्या दांड्याला टेकवली आणि मग लेडेन घटाची चाचणी घेतली. त्यात आता विद्युत द्रव भरलेले होते आणि काचेच्या कांडीने विद्युत भारित केल्याप्रमाणे त्याचे गुणधर्म होते.

आकाशात चमकणाऱ्या विजा म्हणजे विजेची ठिणगीच आहे हे फ्रॅन्कलिन ने सिद्ध केले. तसेच, ढगात तयार होणारी वीज आणि प्रयोगशाळेत निर्माण केलेली वीज या एकाच प्रकारच्या आहेत हे ही त्याने सिद्ध केले.

फ्रॅन्कलिन ने आणखीही एक गोष्ट केली. १७४७ साली त्याला जेव्हा पहिला लेडेन घट मिळाला होता, तेव्हा त्याने काही प्रयोग केले होते. पण सपाट टोकाचा पितळी दांडा वापरण्याऐवजी त्याने त्यात अणकुचीदार टोकाचा दांडा वापरला होता.

यामुळे लेडेन घटातील विद्युत निघून जाणे अधिक सोपे होते असे त्याच्या लक्षात आले होते. खरे तर, अणकुचीदार टोकाची सुई वापरली असता, त्यातून वीज निघून जाणे इतके सुकर

झाले, की प्रथम तो घट विद्युत भारित करताच येईना. लेडेन घटात जरी पंपाच्या सहाय्याने वीज भरली, तरी देखील ती भरताक्षणीच निघून जात असे.

वादळी हवामानात ढग आणि पृथ्वी यांचा एक प्रचंड आकाराचा लेडेन घटच बनतो हे एकदा फ्रॅन्कलिन ने सिद्ध केल्यावर, एखाद्या अणकुचीदार टोकामुळे ढग आणि पृथ्वी या दोन्हीतील विजेचा भार निघून जाण्यास मदत होईल असे त्याला वाटले.

समजा, एखाद्या इमारतीच्या छतावर एक टोकदार धातूचा दांडा बसवला, आणि त्याला जोडलेल्या तारा जमिनीत घातल्या. तसे केल्यास, ती इमारत आणि तिच्या आसमंतात फारसा विद्युत भार जमणारच नाही. जसजसा विद्युत भार जमत जाईल, त्याचबरोबर तो निघूनही जाईल, आणि मग खूप मोठा भार अचानक, धोकादायक पद्धतीने निघून ही जाणार नाही. दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर त्या इमारतीवर वीज कोसळण्याचा धोका रहाणार नाही.

१७५३ साली, म्हणजे पतंगाच्या प्रयोगानंतरच्या वर्षी, घरावर किंवा कोणत्याही इमारतीवर वीज विरोधक (लाइटनिंग रॉड) कसा बसवावा हे त्याने साऱ्या जगाला सांगितले. अमेरिकेच्या सर्व वसाहती आणि युरोपमधेही लोकांनी आपल्या घरावर वीज विरोधक बसवायला सुरवात केली.

विजेच्या ज्ञानाचा सामान्य लोकांना त्यांच्या आयुष्यात उपयोग होण्याची ही पहिलीच वेळ होती.

५ विद्युत घट आणि विजेची जनित्रे

१७७१ साली, विजेच्या प्रयोगांनी एक वेगळेच वळण घेतले. लुइगी गॅल्वानी हा इटालियन जीवशास्त्रज्ञ लेडेन घटावर प्रयोग करत होता. त्याच वेळी, त्याचे बेडकांच्या पायावर काही निराळे प्रयोग चालू होते. या दोन्हीचा अर्थातच एकमेकांशी काही संबंध नव्हता.

लेडेन घटातून उडालेली एक ठिणगी यापैकी एका पायावर पडली आणि तो पाय आखडला गेला. गॅल्वानीला याचे फारच आश्चर्य वाटले, कारण सामान्यत: फक्त जिवंत स्नायूंमधेच असे

आकुंचन होते. विजेमुळे मृत स्नायुंची हालचाल ही जिवंत स्नायुंप्रमाणे झाली होती. विजेचा आणि जीवनाचा काही संबंध असेल का?

गॅल्वानीला फ्रॅन्कलिनच्या प्रयोगांची माहिती होतीच, आणि आकाशातील वीज म्हणजे एक विजेची प्रचंड ठिणगी असते हे ही तो जाणून होता. बाहेर विजांचा चमचमाट आणि ढगांचा गडगडाट असलेले मोठे वादळ चालू असताना खिडकी बाहेर काही बेडकांचे पाय ठेवले आहेत अशी कल्पना करा. वादळाने ढग, हवा आणि पृथ्वी या सर्वात विद्युत भार जमत असताना, हे मृत स्नायू आखडतील का?

जेव्हा असे वादळ आले, तेव्हा तो प्रयोग करत असलेले बेडकाचे काही पाय, वाऱ्याने रस्त्यावर उडून जाऊ नयेत यासाठी त्याने पितळी आकड्यांना बांधले आणि ते खिडकीबाहेरच्या लोखंडी जाळीवर ठेवले.

अपेक्षेप्रमाणेच, हे स्नायू आखडले आणि बराच वेळ ही क्रिया चालूच राहिली.

मग वादळ नसून हवा स्वच्छ असताना हा प्रयोग त्याने परत एकदा करून पाहिला. स्नायू **तरीही** आखडले. वास्तविक, ज्या ज्या वेळी ते पितळ आणि लोखंड यासारख्या दोन निरनिराळ्या धातूंच्या संपर्कात, एकाच वेळी आले, त्या त्या वेळी ही हालचाल दिसून आली.

जीवन आणि वीज यांच्यात काही तरी संबंध असला पाहिजे असा निष्कर्ष गॅल्वानीने काढला. जिवंत प्राण्यात पुरेपूर वीज असते. मरणानंतरही प्राण्यातील ही वीज ताबडतोब नाहीशी होत नसणार, म्हणून दोन निरनिराळ्या धातूंच्या संपर्कात आल्यावर स्नायू आकुंचन पावत असावेत.

अलीसान्ड्रो व्होल्टा नावाच्या आणखी एका इटालियन शास्त्रज्ञाने या स्नायुंच्या आकुंचनाचा विचार करायला सुरवात केली. त्याने विजेसंबंधी बरेच प्रयोग केले होते, आणि स्नायुंमधे नेहमीपेक्षा एवढी अधिक प्रमाणात वीज असेल हे त्याला पटत नव्हते.

जेव्हा स्नायूंचा दोन निरनिराळ्या धातूंशी संपर्क आला, त्यावेळी कदाचित, स्नायूंऐवजी त्या धातूंमधे वीज निर्माण होत असेल. तसे असल्यास, स्नायूंशिवायच या धातूंचा वीज निर्माण करण्यासाठी उपयोग होऊ शकेल. ओलसर स्नायू ऐवजी दोन निराळ्या धातूंवर एखादा पुठ्याचा ओलसर तुकडा ठेवला तर?

कशावरही न घासता, आणि स्नायुपेशींशिवाय धातूतून वीज निर्माण होऊ शकते, हे वोल्टाने १७९४ साली शोधून काढले. वीज वाहक असलेल्या खाऱ्या पाण्यात दोन वेगवेगळे धातू ठेवले आहेत अशी कल्पना करा. समजा, त्या धातूत काही रासायनिक बदल घडून आले. या रासायनिक प्रक्रियेशी, कोणत्या तरी कारणाने, विजेचा संबंध असेल. यापैकी एका धातूत

अधिक विद्युत द्रव येऊन त्यात धन भार जमेल, तर दुसऱ्यातील विद्युत द्रव कमी होऊन त्यात ऋण भार तयार होईल.

व्होल्टा ने, शक्य तितका अधिक भार भरता यावा यासाठीचे आपले प्रयोग चालूच ठेवले. १८०० साली त्याने मिठाच्या पाण्याने भरलेल्या भांड्यांची एक मालिकाच तयार केली. तांब्याच्या पट्टीचे एक टोक एका भांड्यात बुडवले, आणि ती पट्टी वाकवून तिचे दुसरे टोक शेजारच्या मिठाच्या भांड्यात बुडवले. आता पट्टीची दोन्ही टोके मिठाच्या पाण्यात होती. ही तांब्याची पट्टी, त्याच भांड्यात असलेल्या कथिलाच्या दुसऱ्या एका पट्टीला जोडली. कथिलाच्या या पट्टीचे दुसरे टोक तिसऱ्या भांड्यात बुडवले, त्यात तिला जोडलेल्या तांब्याच्या पट्टीला परत वाकवून तिचे दुसरे टोक चौथ्या भांड्यात बुडवले, तिला आणखी एक कथिलाची पट्टी जोडली आणि असे अनेक वेळा केले. प्रत्येक भांड्यातील पट्टीचे दुसरे टोक पुढच्या भांड्यात होते.

तांब्याच्या सर्व पट्ट्यात धन भार जमा झाला आणि कथिलाच्या पट्ट्यात ऋण भार जमला. हे सर्व विद्युतभार एकत्रितरित्या जमा झाल्याने, एका भांड्यात असू शकेल त्यापेक्षा कितीतरी अधिक भार या सर्व भांड्यात मिळून जमा झाला.

त्यानंतर, व्होल्टा ने एका टोकाच्या कथिलाच्या पट्टीचे एक टोक या भांड्यांच्या रांगेतील शेवटच्या भांड्यातील तांब्याच्या पट्टीला एका धातूच्या तारेने जोडले. एका टोकाला अधिक असलेले विद्युत द्रव धातूच्या तारेतून, विद्युत द्रव कमी असलेल्या दुसऱ्या टोकाकडे झपाट्याने गेले.

तांबे आणि कथिल यांच्याशी संबंधित रासायनिक प्रक्रिया होतच राहिल्याने, एका टोकाला धन भार आणि दुसऱ्या टोकाला ऋण भार तयार होतच राहिले. जोपर्यंत ही रासायनिक प्रक्रिया सुरू होती, तोपर्यंत तारेतून विजेचा प्रवाह चालूच राहिला.

जेव्हा अशा प्रकारच्या एकसारख्या वस्तूंची एक मालिकाच असते, तेव्हा तिला बॅटरी असे म्हणतात. व्होल्टाने धातूच्या पट्ट्या मिठाच्या पाण्यात बुडवलेल्या भांड्यांची, विद्युतभार निर्माण करणारी, एक मोठी मालिकाच तयार केली होती. म्हणून तिला विजेची बॅटरी (जोडलेले विजेचे घट) असे नाव देण्यात आले. व्होल्टाने ही सर्वप्रथम तयार केली.

व्होल्टाच्या वेळेपर्यंत विजेसंबंधी करण्यात आलेले सर्व प्रयोग हे एका वस्तूत, एका जागी टिकून रहाणाऱ्या विजेसंबंधीच होते. ही वीज प्रवाही नव्हती. म्हणून या विजेला स्थिर विद्युत (स्टॅटिक) असे नाव दिले गेले. स्थिर रहाणारी या अर्थाच्या लॅटिन शब्दावरून हा शब्द आला आहे.

व्होल्टाच्या बॅटरीतून मात्र तारेतून विजेचा प्रवाह अव्याहतपणे बराच काळ चालूच रहात असे. त्याने पहिला विद्युत प्रवाह (इलेक्ट्रिक करंट) उत्पन्न केला असे म्हणता येईल.

लोकांनी लगेच विजेच्या या नव्या उपकरणावर प्रयोग करायला सुरवात केली. त्यांनी पहिल्याहून चांगल्या नव्या बॅटऱ्या तयार केल्या. रासायनिक प्रक्रियेमुळे जशी विजेच्या प्रवाहाची निर्मिती होते, त्याचप्रमाणे विजेच्या प्रवाहाने रासायनिक बदल घडून येतात असाही शोध लागला.

१८०० साली, म्हणजे बॅटरीचा शोध लागला त्या वर्षीच, विल्यम निकोलसन या इंग्रज गृहस्थाने पाण्यातून विजेचा प्रवाह नेऊन त्याचे हायड्रोजन आणि प्राणवायु (ऑक्सिजन) या दोन वायूत विभाजन केले. पाणी हे या दोन वायुंपासून बनलेले रासायनिक संयुग आहे असे त्याने दाखवून दिले.

१८०७ साली, हंफ्री डेव्ही या दुसऱ्या एका इंग्रज गृहस्थाने वीज प्रवाहाचा वापर करून, काही खनिजांचे सर्वात प्रथम पृथक्करण केले. त्यातून आतापर्यंत कोणीही न पाहिलेले काही धातू त्याला मिळाले.

नंतर १८१९ साली, हॅन्स ख्रिस्चन ओर्स्टेड या डॅनिश शास्त्रज्ञाने असा शोध लावला की तारेतून विजेचा प्रवाह जात असताना, ती तार लोहचुंबक बनते. वीज आणि लोहचुंबक या दोन प्रकारच्या आकर्षणात काहीतरी परस्पर संबंध असला पाहिजे.

लगेच, या नव्या शोधावर आधारित प्रयोग सुरू झाले. १८२९ साली, जोसेफ हेन्री या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले की, वीज वाहून नेणारी तार जर वेटोळी गुंडाळली असेल, तर लोहचुंबकीय आकर्षणात वाढ होते. तारेच्या प्रत्येक वेढ्या बरोबर त्यातील चुंबकीय शक्ती वाढते. अर्थात, सर्व तार प्रथम रेशमात गुंडाळणे फार महत्वाचे होते, त्याने विजेचा प्रवाह एका वेटोळ्यातून दुसऱ्या वेटोळ्यात जाणे टाळता येते आणि संपूर्ण तारेतून वीज प्रवाहित होईल याची खात्री करता येते.

ही तार जर एखाद्या लोखंडाभोवती गुंडाळली असेल, तर लोहचुंबकाची शक्ती आणखीच वाढते. इतर कोणत्याही लोहचुंबकापेक्षा ते अधिक शक्तीमान असते. शिवाय अशा तऱ्हेचे विद्युतचुंबक (इलेक्ट्रोमॅग्नेट) सहजपणे सुरू किंवा बंद करता येतात. तारा एखाद्या बॅटरीला जोडल्या, की चुंबक सुरू होई. बॅटरीतून तारा काढून घेतल्या की चुंबक बंद होई.

अशा एका लहानशा विद्युतचुंबकाचा वापर करून हेन्रीला एक टनापेक्षा अधिक लोखंड उचलणे शक्य झाले. अशा तऱ्हेने तो लोखंड हवे तिथे उचलून नेऊ शके आणि हवे तिथे खाली उतरवू शके.

मायकेल फॅरडे या इंग्रज शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले की, विजेच्या प्रभावाने ज्याप्रमाणे चुंबकीय शक्ती उत्पन्न होते, त्याचप्रमाणे चुंबकीय शक्तीने वीज निर्माण करता येते. एखादी तांब्याची तबकडी जर चुंबकाभोवती गोल गोल फिरवली, तर त्या तांब्याच्या तबकडीत विजेचा प्रवाह उत्पन्न होतो असे फॅरडे ने १८३१ साली दाखवून दिले.

तांब्याची तबकडी फिरत ठेवण्यासाठी जर वाफेच्या इंजिनाचा उपयोग केला, तर जोपर्यंत वाफेचे इंजिन चालू असेल, तोपर्यंत तबकडीतून विजेचा प्रवाह बाहेर नेता येईल. फॅरडेने अशा तऱ्हेने वीज निर्माण केली, किंवा विजेचे उत्पादन केले असे म्हणायला हरकत नाही. म्हणजेच त्याने अशा प्रकारे विजेचे पहिले जनित्र (जनरेटर) तयार केले.

विजेच्या बॅटरी नंतरची ही एक मोठीच सुधारणा होती. तांबे, कथिल किंवा जस्त यांसारख्या महागड्या धातूंचा विशिष्ट रासायनिक प्रक्रियेत भाग असण्यानेच बॅटरीतून विजेचे उत्पादन करता येत असे. पण कोळशाच्या इंधनाने वाफेचे इंजिन चालवून त्यातून विजेच्या जनित्रातून वीज उत्पादन करणे हे त्यामानाने कमी खर्चाचे होते.

फॅरडेच्या शोधामुळे, लोकांना जरूर असेल तेवढी वीज, कितीही मोठ्या प्रमाणात, परंतू स्वस्तात उपलब्ध करून देणे शक्य झाले. त्याच वर्षात जोसेफ हेन्रीने फॅरडे च्या शोधाच्या विरुद्ध प्रकारचा शोध लावला. फॅरडे ने तांब्याची तबकडी फिरवून वीज उत्पन्न केली होती. विजेच्या प्रवाहाने चाक कसे फिरवता येऊ शकते हे हेन्रीने दाखवून दिले. त्याने विजेच्या 'मोटर' चा, किंवा गति देणाऱ्या यंत्राचा (इलेक्ट्रिक मोटर) शोध लावला.

हे यंत्र किंवा मोटर एका क्षणात सुरू किंवा बंद करता येत असे. लहानशा मोटरच्या सहाय्याने लहान वस्तू फिरत ठेवता येत असत. प्रचंड आकाराच्या मोटारींचा वापर करून खूप मोठ्या आकाराच्या वस्तू देखील फिरत ठेवता येतात. इतिहास काळापासून जे काम मनुष्य किंवा प्राण्यांच्या स्नायूतील शक्ती वापरूनच करावे लागत असे, ते सर्व आता विजेच्या वापराने करून घेणे शक्य झाले.

यथावकाश, संशोधकांनी आश्चर्यकारक गोष्टींसाठी विजेचा उपयोग करायला सुरवात केली.

सॅम्युएल एफ बी मॉर्स या अमेरिकन संशोधक शास्त्रज्ञाने, १८४४ साली, विजेवर चालणारे, 'तारायंत्र' (टेलिग्राफ) हे पहिले महत्वाचे यंत्र तयार केले. एका लांब तारेतील विद्युत प्रवाहाचा वापर कमी अधिक प्रमाणात करून त्यातून लहान खुणा म्हणजे ठिपके किंवा 'डॉट' आणि मोठ्या खुणा म्हणजे रेघ किंवा 'डॅश' दुसरीकडे पाठवता येत असत. ठिपके आणि रेघा यांची विशिष्ठ रचना प्रत्येक अक्षरासाठी ठरवण्यात आली.

या 'मॉर्स कोड' मुळे विजेच्या वेगाने, म्हणजे सेकंदाला सुमारे ३ लाख किलोमीटर, दूरवर संदेश पाठवणे शक्य झाले. तारेने न्युयॉर्कहून सॅन फ्रॅन्सिस्कोला पाठवलेला संदेश १/६० सेकंदाच्या आतच पोचेल.

१८७६ साली, अलेक्झांडर ग्रॅहॅम बेल या स्कॉटिश अमेरिकन संशोधक शास्त्रज्ञाने, विजेचा प्रवाह कमी अधिक शक्तिशाली बनवण्याची अशी एक पद्धत शोधून काढली की त्यामुळे ध्वनिलहरी निर्माण होत. त्याने 'टेलिफोन' चा शोध लावला.

१८७९ साली, थॉमस अल्वा एडिसन या अमेरिकन संशोधक शास्त्रज्ञाने, निर्वात केलेल्या (ज्यात हवा नाही अशा) विशिष्ठ वायु भरून बंद केलेल्या कुपीत कार्बनच्या बारीक धाग्यासारख्या तारेतून विजेचा प्रवाह नेण्याची एक पद्धत शोधून काढली. विजेच्या प्रवाहाने ही तार गरम होऊन ती शुभ्र प्रकाशमान दिसे. हवा नसल्याने , ती जळून जाऊ शकत नसे, केवळ प्रकाशमान दिसे. एडिसन ने 'विजेच्या दिव्याचा' शोध लावला.

अशा अनेक नव्या गोष्टी बनवण्यात आल्या. आजकाल, आपण सर्वजण विजेच्या प्रवाहाचा वापर करतो. स्वयंपाकासाठी, उष्णता मिळण्यासाठी, वस्तू गार करण्यासाठी , गोठवण्यासाठी आणि उजेड मिळण्यासाठीही. आपला रेडियो, टेलिव्हिजन, रेकॉर्ड प्लेयर हे सर्व विजेवरच चालते. विजेच्या सुऱ्या, ब्रेड भाजण्याचा विजेचा टोस्टर, केस वाळवण्याचा विजेचा हेअर ड्रायर यासाठीही आपण वीज वापरतो.

विजेचा उपयोग करण्याचे किती नवे मार्ग सापडतील त्याला अंतच नाही. दरवर्षी आपण अधिकाधिक वीज वापरत आहोत. आपल्या पूर्वजांपेक्षा आपले आयुष्य त्यामुळे पूर्णपणे बदलून गेले आहे.

अनेक लोकांनी, अनेक शतकात, 'असे का होते' या विषयीच्या आपल्या कुतुहलातून जे प्रयोग पुढे चालूच ठेवले त्याचेच हे फलित आहे.