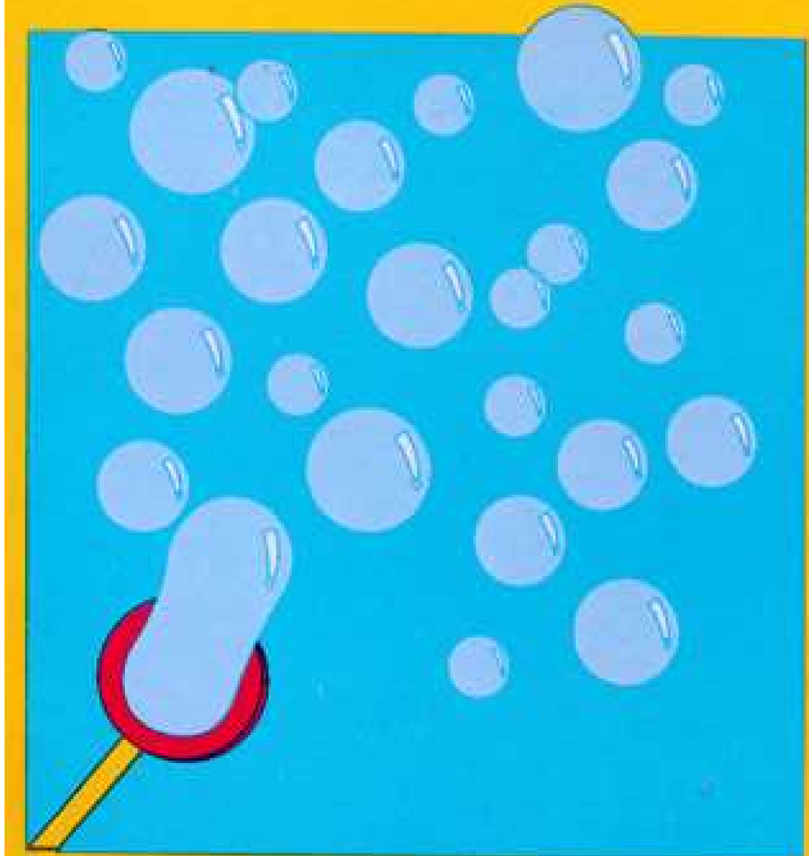
सी. वी. बॉयज

साबुन के बुलबुले

और वह बल जो उन्हें गढ़ते हैं



हिन्दी रूपान्तर : प्रेम सागर

व्यवहारिक निर्देश..77
व्याख्यान 1,11,111 के कोषिकत्व प्रत्यास्थता, बुलबुले के पृष्ठ और दबाव,कैटिना रुपी और नोडयाड बुलबुले, विद्युत और बुलबुले आदि विष्यों से सम्बधित प्रयोग कैसे करें-इनकी सहजता और प्राप्य संतोष।

व्याख्यात्मक टिप्पणियां 105

लेखक के संम्बन्ध में

सर चार्ल्स वरनॉन बॉयज़ का जन्म 15 मार्च 1855 को हुआ था। उनके पिता पादरी थे। मार्लबारो में स्कूली शिक्षा समाप्त करने के बाद वह रॉयल स्कूल आफ माइन्स में पढ़ने गये। खनन एवं धातु-विज्ञान में स्नातक की उपाधि प्राप्त कर, बॉयज़ ने कुछ समय तक एक कोयले की खान में काम किया। इसके बाद उन्होंने रॉयल कालेज आफ माइन्स में भौतिक विज्ञान के प्रशिक्षण का कार्य आरंभ कर दिया। सन् 1880 में उन्होंने अपना पहला वैज्ञानिक लेख प्रकाशित किया। बॉयज की विशिष्टतानुसार,भौतिक अथवा खनन विज्ञान से इसका कोई संबन्ध नहीं था। लेख बगीचे की मकड़ियों पर उनके अध्ययनों पर आधारित था। टी0 एच0 हक्सले (1825-95) ने उन्हें इस अध्ययन के लिये प्रोत्साहित किया। बॉयज़ यह जानना चाहते थे कि मकड़ियां अपने अनुभवों से कुछ सीख पाती हैं, अथवा नहीं।

बॉयज़ को अपने उपकरणों से 'खेलना' बहुत प्रिय था। वह उनके प्रयोग करते, उनमें संशोधन करते और आवश्यकतानुसार नये उपकरण भी बनाते। उन्होंने ने एक रेडियो सूक्ष्म-मापक का आविष्कार किया, जिससे तापीय-प्रभाव से उत्पन्न विकिरणों की सूक्ष्म धाराओं का अध्ययन हो सके । वह एक क्वार्ट्ज के इतने पतले रेशे निर्मित करने में सफल हुए, जिनका स्थान निर्धारण भी कठिन था। इन अदृश्य रेशों का उपयोग कर उन्होंने हेनरी कैवेन्डिश का ऐंठन तुला (टारशन बैलन्स) संशोधित किया। इस तुला का उपयोग उन्होंने न्यूटन के गुरूत्वांक (कान्सटेन्ट आफ ग्रेविटेशन) के मापन के लिये किया जो विज्ञान के क्षेत्र में उनका बहुत बड़ा योगदान था। उन्होंने ऐसी विशुद्धता से मापा कि इसमें और अधिक सुधार में 50 वर्ष लगे। बॉयज़ ने चलायमान गोलियों

की समकालीन फोटोग्राफी विधि में सुधार किया और आकाशीय बिजली के चित्र उतारने के लिये कैमरा बनाया। उन्होंने सूर्य-घड़ीयों की परिकल्पना की और गैसों की अंतरहित ऊष्मा स्थिरांक (हीट कान्सटेन्ट) के अत्यन्त विशुद्ध मापन के लिये भी एक उपकरण आविष्कृत किया ।

बॉयज़ विविध रुचियों वाले व्यक्ति थे। वह भौतिक शास्त्र की शाखा की जटिलतायें समझते थे, लेकिन उनका प्रथम वैज्ञानिक लेख (जैसा उल्लेख किया जा चुका है।) मकड़ियों पर था। अंतिम पुस्तक का शीर्षक था: 'वीडस, वीडस, वीडस'(अपतृण, अपतृण, अपतृण 1937)। यह पुस्तक बागवानी में उनकी गहरी रुचि का परिणाम थी। इन सबके अतिरिक्त वह एक हास्य-रसिज्ञ व्यक्ति थे।

बॉयज़ को अनेक पुरस्कार और पदक प्राप्त हुए। वह *फिजिकल सोसाइटी आफ लन्दन और रान्टजन सोसाइटी* के अध्यक्ष थे। वह *रॉयल मैडिल और रमफोर्ड मैडिल आफ दि रॉयल सोसाइटी* द्वारा सम्मानित किये गये। सन् 1935 में उन्हें नाइट की उपाधि प्राप्त हुई।

मार्च 30, 1944 को उनका देहान्त हो गया।

भूमिका

जब किसी पुरानी पुस्तक के पुनर्प्रकाशन के संबंध में विचार किया जाता है, तो अनेक प्रकार के प्रश्न उठते हैं: आखिर यह पुस्तक इतने लम्बे समय तक अनछपी क्यों रही? इस पुस्तक में आखिर ऐसी क्या विशिष्टता है? इन प्रश्नों का उत्तर अपनी-अपनी समझ पर निर्भर कर सकता है, लेकिन कुछ पुरानी चिर-प्रतिष्ठित पुस्तकों के सम्बन्ध में ऐसे प्रश्नों का उत्तर सदा अत्यन्त स्पष्ट होता है। प्रस्तुत पुस्तक इसी श्रेणी में आती है। इसके पुनर्प्रकाशन की उपयोगिता के संबंध में हमारे विवेकी पाठकों में किसी मतभेद की सम्भावना नहीं है। पुस्तकों को व्यक्तिगत संतुष्टि का माध्यम मानने का दृष्टिकोण निरन्तर बढ़ रहा है। इसका तात्पर्य हुआ कि जिस पुस्तक से यह प्राप्त न हो, वह अनपढ़ी रह सकती है। प्रायोगिक विज्ञान के पिता फ्रैन्सिस बेकन (1561-1626) ने कहा था-''मैं सम्पूर्ण ज्ञान को ही अपना क्षेत्र मानता हूँ। पठन मनुष्य को सम्पूर्ण, विचार-विमर्श निपुण, और लेखन सही एवं स्पष्ट बनाता है। उसने यह सम्मति भी दी थी कि पठन का उद्देश्य विरोधात्मक या खंडनात्मक नहीं होना चाहिये, यह हर (पढ़ी हुई) बात पर विश्वास कर लेना या पांडित्यपूर्ण प्रवचन भी नहीं होना चाहिये । पढ़कर हमें सदा परखना और मनन करना चाहिये ।

आज शायद अनेक व्यक्ति बेकन के उपरोक्त कथन का महत्व नहीं समझेंगे, क्योंकि किसी पुस्तक के 'उपयोग' के बाद उसकी विषय-वस्तु पर गहन विचार में उनकी कोई रुचि नहीं होती। सौभाग्य से यह बात सब पाठकों पर लागू नहीं होती, अन्यथा निरन्तर जलने वाला ज्ञान-दीपक कभी का बुझ गया होता। ऐसे गंभीर पाठक भी हैं जो परखते और मनन करते हैं। इन

पाठकों में और उन पुस्तकों में जिनका अध्ययन वह करते हैं सदा एक सृजनात्मक अंतर्क्रिया होती है। उदाहरणत:, ई0 श्रोडिन्जर (जिसने क्वान्टम बल-विज्ञान की नींव रखी) की पुस्तक 'जीवन क्या है?', ने अनेक भौतिक-विज्ञानियों को जीवविज्ञान के क्षेत्र में प्रवेश कर, इसमें नई क्रान्ति के सूत्रपात की प्रेरणा दी। इसी प्रकार टामस राबर्ट मालथर की पुस्तक 'जनसंख्या पर निबंध' (ऐसेज ऑन पापुलेशन) ने चार्ल्स रॉबर्ट डारविन के जीवन उत्सर्जन संबंधी विचारों के विकास में महत्वपूर्ण योगदान दिया और 'प्रजातियों की उत्पत्ति' (ओरिजिन ऑफ स्पीसीज) नामक एक चिर-प्रतिष्ठित पुस्तक का स्रोत बनी। 'भूगर्भ विज्ञान के सिद्धान्त ' ('प्रिन्सिपिल्स ऑफ जिओलोजी'), आईजेक न्यूटन की 'प्रिंसिपिया' और 'प्रकाशिकी'(ऑप्टिक्स) तथा अदम स्मिथ की 'राष्ट्रों की सम्पदा' (वेल्थ ऑफ नेशन्स) ने पीढ़ी दर पीढ़ी विचारकों को प्रेरणा दी और मनुष्य तथा प्रकृति-सम्बन्धी ज्ञान में क्रान्तिकारी परिवर्तनों को जन्म दिया। लेकिन इस श्रेणी की पुस्तकें आम पुस्तकों की तुलना में बहुत कम है। पुस्तकों का पठन, पाठक को महान विचारकों के मस्तिष्कों में झाँकने का तथा मानव ज्ञान के विकास की जटिल प्रक्रिया को समझने का अवसर प्रदान करता है। महान विचारकों द्वारा लिखी गई पुस्तकें मानवीय ज्ञान के सातत्य, और परम्परा को बनाये रखने का कार्य भी करती हैं। इस प्रकार आने वाली पिढ़ियाँ, पूर्वजों द्वारा अर्जित ज्ञान को और आगे बढ़ाने की आशा कर सकती हैं। ऐसे मौखिक तथा लिखित संचारण से हमारी दृष्टि की वातावरण से आवश्यक पुनर्निवेशन ग्रहण करने की क्षमता विकसित होती है। अवलोकनों, व्याख्याओं, शंकाओं, पुष्टियों तथा ज्ञान और बुद्धिमत्ता की प्रगति का संचारण, वैज्ञानिक क्रियाशीलता का अंतरंग अंग है।

अच्छी एवं सामान्य आय-सीमाओं के अंदर प्राप्य पुस्तकों की संख्या निरन्तर घट रही है। विगत कुछ वर्षों में बहुत कम अच्छी पुस्तकें प्रकाशित हुई हैं और बीते हुए समय की अच्छी

पुस्तकें अब प्राप्य नहीं है। वर्तमान शिक्षण व्यवस्था में, शिक्षक प्राय: अच्छी अनुपूरक पुंस्तकों के अध्ययन की संस्तुति आवश्यक नहीं समझते। वास्तव में शिक्षक प्राय: स्वयं ऐसी पुस्तकों से अनभिज्ञ होते है, अत: अध्ययन में रुचि रखने वाले विद्यार्थियों को भी इनकी जानकारी नहीं मिल पाती। उदाहरणत: पक्षियों में रुचि रखने वाले व्यक्तियों के लिये भारतीय पक्षियों पर सलीम अली की पुस्तक का अध्ययन अति आवश्यक है। आज प्राय: हर विषय पर पुस्तकें उपलब्ध है: मकड़ियों पर, मधुमक्खियों पर, साँपों पर मछलियों पर तथा अन्य जन्तुओं पर। खिलौनों पर, चित्रकारिता पर, मनुष्यों तथा उनकी व्यावहारिक विशेषताओं पर, नदियों और पर्वतों आदि पर भी पुस्तकें उपलब्ध हैं। कुछ पुस्तकों ने हमारे सौन्दर्य बोध को प्रभावित किया है, कुछ ने ऐतिहासिक ज्ञान में गहरी अंतर्दृष्टि प्रदान की है, कुछ हमें अपने वातावरण के संबंध में शिक्षित करती है, कुछ चाँद-सितारों के विषय में हैं, कुछ प्राकृतिक शक्तियों द्वारा ब्रम्हांड संचालन की व्याख्या प्रस्तुत करती हैं और कुछ अनुसंधान के नये साधन उपलब्ध कराती हैं। अत: 'सम्पूर्ण' मनुष्य बनने के लिये हमें विविध प्रकार की पुस्तकों का अध्ययन करना आवश्यक है।

लेकिन आखिर कोई कितनी पुस्तकें पढ़ सकता है? बेकन ने इसका उत्तर दिया है, कुछ पुस्तकों को केवल चख लेना, लेकिन कुछ का चबा-चबाकर पाचन आवश्यक है अर्थात कुछ पुस्तकों का सरसरी तौर पर पढ़ लेना ही पर्याप्त है, कुछ अन्य को पढ़ना चाहिये लेकिन विशेष जिज्ञासापूर्वक पढ़ना आवश्यक नहीं है। केवल कुछ ही पुस्तकें ऐसी होती है जिनका पूर्णरूपेण विशेष परिश्रम एवं ध्यान-पूर्वक गहन अध्ययन आवश्यक हैं।

अच्छी पुस्तक की पहचान कैसे हो? अच्छे शिक्षक की भाँति अच्छी पुस्तक का मुख्य उद्देश्य पाठक को पुस्तक तक ही सीमित न रख कर, नव-प्रवर्तन की प्रेरणा होना चाहिये, इसे विषय की गहनता को तथा इसके प्रति लगाव की भावना जागृत करना

चाहिये। कहा गया है कि साधारण शिक्षक केवल शिक्षा देता है, उत्तम शिक्षक व्याख्यात्मक, अतिउत्तम शिक्षक निदर्शनात्मक, तथा सर्वोत्तम शिक्षक प्रेरणादायक होता है। यही बात पुस्तकों पर भी लागू होती है।

विज्ञान मनुष्य तथा उसके वातावरण का सुव्यवस्थित अध्ययन है। प्राय: प्रतिदिन हमारा सामना अनेक प्राकृतिक अथवा मानवीय कारणों से घटित घटनाओं से होता है। मानवीय ज्ञान की समस्त उपलब्धियों का आधार प्राकृतिक घटना-कियाओं का कमबद्ध अध्ययन है। दूसरे शब्दों में हमने जो भी सीखा है प्रकृति से ही सीखा है लेकिन हम प्रकृति से संचारण कैसे करें? क्या हम प्रकृति से सीधा वार्तालाप कर सकते है? स्पष्ट है कि यह संभव नहीं है। अनेक तथ्य जिन्हें हम जानना चाहते है प्रकट दीखते नहीं बल्कि अप्रत्यक्ष होते हैं। विस्तृत एवं सतत अवलोकन (आब्जर्वेशन) तथा व्यापकीकरण से बहुत कुछ सीखा जा सकता है, लेकिन अप्रत्यक्ष तथ्यों को जानने के लिये हमे प्रकृति से विशिष्ट प्रश्न पूछने होते है उदाहरणत:, हम जिस हवा में साँस लेकर जीवित रहते है, उसमें क्या केवल एक ही तत्व है या वह अनेक पदार्थों का मिश्रण? यदि यह मिश्रण है तो इसका कौन सा अंश श्वसन में सहायक है। यदि यह प्रश्न हम मौखिक पूछें, तो हम किसी उत्तर की आशा नहीं कर सकते। फिर इसका उत्तर कैसे मिल सकता है? उत्तर पाने के लिये हमें कोई प्रयोग करना होगा, और सही उत्तर का मिलना इस प्रयोग की अभिकल्पना पर निर्भर करेगा। आज जब हम किसी प्रयोग की बात करते है तो हमारे सामने जटिल यंत्रों एवं उपकरणों से भरी प्रयोगशाला का चित्र सामने आ जाता है, जिसमें अनेक वैज्ञानिक कहलाये जाने वाले 'विचित्र' व्यक्ति कार्यरत है। वास्तव में यह आवश्यक नहीं है। वैज्ञानिक शिक्षा के बिना भी, ऐसे प्रयोग किये जा सकते है जिनके द्वारा चिर-मायावी प्रकृति से अनेक प्रश्नों के उत्तर मिल सकते है। कौन कह सकता है कि ऐसे ही प्रयोगों के माध्यम से कब किसी नये फैराडे का जन्म हो, जिसके उपकरण अत्यंत साधारण थे, उदाहरणत: केवल कुछ रबर नालिकायें, प्रवाह-अवरोधक (स्टाप कॉक), परखनलियाँ और स्प्रिट-लैंप। हाँ, ऐसे साधारण उपकरणों से निष्कर्ष-पूर्ण प्रयोगों की अभिकल्पना के लिये विशेष सूझ-बूझ की आवश्यकता है।

अनेक ऐसे महान वैज्ञानिकों ने, जिनके अनुसंधान कार्य ने विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी की नींव रखी है, अत्यंत साधारण उपकरणों से अपने प्रयोग किये है। फैराडे ने भी ऐसा ही किया। केवल एक पुरानी बोतल और रद्दी इमारती लकड़ी की सहायता से उसने एक स्थिर-वैद्युतीय उत्पादक निर्मित किया। इसके माध्यम से उसने विद्युत संबंधी कुछ धारणाओं का परीक्षण किया। हमारा सौभाग्य है कि ऐसे अनेक आरम्भिक महान वैज्ञानिकों ने अपने अनुभवों के वितरण के लिए व्याख्यानों का सहारा लिया, जो बाद में पुस्तक रूप में छपे या उन्होंने स्वयं पुस्तकें लिखीं। इनमें से अनेक पुस्तकें ऐसी हैं, जिन्हें उन सब व्यक्तियों, को जो प्रायोगिक विज्ञान का आधारभूत ज्ञान सीखना या सिखाना चाहते है, बार-बार पढ़ना चाहिये। श्प्रकाश बत्ती का रासायनिक इतिहास' फैराडे ने पुस्तक के रूप में नहीं लिखी। यह उनकी एक व्याख्यान-माला का आशुलिपि-बद्ध अभिलेख है, जो उन्होंने किशोर श्रोताओं के समक्ष 1860-61 की किसमस की छुट्टियों में दिये। इसमें उन्होंने प्रायोगिक प्रदर्शन भी प्रस्तुत किये। वैज्ञानिक अध्ययन में प्रयोगों के महत्व पर फैराडे ने सदा विशेष बल दिया। एक अनुसंधानकर्ता और प्रयोग प्रदर्शक के रूप में उनकी सफलता से प्रयोगों द्वारा प्राकृतिक-रहस्योदघाटन-विधि में व्यापक विश्वास जागृत हुआ। अपने प्रयोगों की अभिकल्पना वह प्रकृति से सीखने की क्रिया-विधि के रूप में करते थे। फैराडे चाहते थे कि उनके श्रोता स्वयं को प्रकृति की पाठशाला का विद्यार्थी समझें। उनके प्रयोग अत्यन्त खुले होते थे, जिनसे घटना-क्रिया सुस्पष्ट और सर्वमान्य रूप में देखी जा सकती थी। उनके उपकरण और तकनीक इतनी पारदर्शक

होती थी कि प्रयोगों को समझने में दर्शकों को कोई कठिनाई नहीं होती थी। यह प्रयोग घटना-क्रिया को स्वयं-स्पष्ट तथा प्राकृतिक बना देते थे। हमें विश्वास है कि फैराडे के यह व्याख्यान पाठकों में उनके प्रयोगों को दोहराने की इच्छा जागृत करेंगे। तभी वह प्रयोगो के निष्कर्षो और ज्ञान के विकास के आपसी गहरे संबंधों को समझ सकेंगे। हाँ, यह प्रकिया निश्चित रुप से पुस्तक के साधरण पठन की अपेक्षा अधिक जटिल होगी।

सी0.वी.बायज़ की पुस्तक साबुन के बुलबुने और वह बल जो इन्हें गढ़ते है, ऐसी ही एक पुस्तक है। यह निःसंदेह वैज्ञानिक साहित्य की एक चिर-प्रतिष्ठित प्रचीन पुस्तक है। यह तीन व्याख्यानों पर आधारित है जो बायज़ ने किशोर श्रोताओं के समक्ष 30 दिसम्बर 1889 और 1 तथा जनवरी 1990 को दिये। लन्दन की सोसाईटी फॉर प्रोमोटिंग क्रिस्चियन नॉलेज ने इसे 1902 में, तथा इसका संशोधित संस्करण 1916 में प्रकाशित किया।

बायज़ ने इसमें विभिन्न आकारों तथा मापों के बुलबुलों की निर्माण-प्रकिया के प्रदर्शन के साथ, भौतिक विज्ञान के अनेक मूल-भूत प्रश्नों पर चर्चा की है। अपनी बात कहने के लिये उसने बाईबिल से लेकर बाल-गीतो तक से उद्धरण प्रस्तुम किये हैं। लेकिन अभिगम की विविधता के बावजूद, बावज़ का इसमें एक निश्चित उद्देश्य है। श्रोताओं को मानव और मानवीय वातावरण के अध्ययन में विज्ञान की भूमिका का आभास कराना। यह पुस्तक निश्चित रूप से अपने हज़ारों पाठकों को प्रेरणा देगी-ऐसे पाठकों को भी जिन्हें विज्ञान के क्षेत्र में कोई औपचारिक शिक्षा नहीं मिली है।

नरेन्द्र कुमार सहगल
सुबोध महन्ती

प्राक्कथन

बड़ी उम्र के कुछ पाठक, संभवतः प्रस्तुत पुस्तक में इस आधार पर कमियाँ खोजें कि यह अनेक दृष्टियों से अधूरी है, अथवा इसकी बहुत सी सामग्री अत्यंत आरंभिक है। ऐसे पाठकों से मै कहना चाहूंगा कि वह यह न भूलें कि पुस्तक केवल किशोरों के लिये है। इन किशोरों से मेरा अनुरोध है कि वह वर्णित प्रयोगों को दोहराने का पूरा प्रयास करें। अनेक उदाहरणों में इसके लिये कॉच अथवा इंडिया रबर की कुछ नलियों तथा सरलता से उपलब्ध वस्तुओं के अतिरिक्त कोई उपकरण आवश्यक नहीं है। इस प्रयास में जो कष्ट होगा, उसका प्रतिदान भी उन्हें प्राप्त होगा। कुछ असफल प्रयासों से हतोत्साहित होने की अपेक्षा, वे यदि समस्त उपलब्ध साधनों सहित इनमें जुटे रहे, तो तुरन्त सफल हो जाने वाले प्रयोगों की तुलना में ऐसे प्रयोग अधिक रोचक प्रतीत होंगे जिनमें कठिनाइयों का सामना करना पड़ा।इनमें से कुछ प्रयोग इतने सरल है कि इनमें किसी सहायता की आवश्यकता नहीं हैं। लेकिन कुछ शायद सहायता के बावजूद भी कठिन हों। जो व्यक्ति वर्णित प्रयोग स्वंय करना चाहते है उन्हें प्रोत्साहित करने के लिये मैंने पुस्तक के अंत में ऐसे निर्देश दिये है, जो मेरे विचार से अत्यंत सहायक सिद्ध होंगे।

मैंने अनेक ख्याति-प्राप्त व्यक्तियों के प्रकाशित कार्यो का स्वतंत्रता से उपयोग किया है। इनमें मै निम्नलिखित का उल्लेख विशेष रूप से करना चाहूंगाः सर्वाट प्लैटो, क्लार्क मैक्सवेल, सर विलियम टामसन, लार्ड रैले, श्री चीसेटर बेल और प्रोफेसर रूकर। ये व्यक्ति अधिकांश प्रयोगों का वर्णन पहले कर चुके है। कुछ प्रयोग पत्रिकाओं से लिये गये है, और कुछ परिकल्पना और व्यवस्था मैंने स्वंय की है। कुछ उपकरण प्रोफेसर रूकर के व्याख्यानों के लिये लाये गये थे, जिनका उपयोग मैंने किया है, इसके लिये मै आभारी हूँ।

सी.वी.बॉयज़

व्याख्यान - I

मेरा अनुमान है कि आप सब ने यदा-कदा साबुन के सामान्य बुलबुले अवश्य फूँके होंगे और इनके आकार की संपूर्णता, रंगों की अद्‌भुत चमक की सराहना के साथ, इस बात पर आश्चर्य अनुभव किया होगा कि इतनी सुंदर वस्तु इतनी सरलता से कैसे बन जाती है।

मुझे आशा है कि अब भी आप इस खेल से थके नहीं हैं। इस सप्ताह में शायद आप को आभास हो कि साधारण बुलबुलों में भी ऐसा बहुत कुछ है जिसकी कल्पना आपने अब तक नहीं की थी।

चित्रकार मिलय[1] ने इन बुलबुलों के प्रति आश्चर्य और प्रशंसा की भावनाओं का बहुत सुंदर चित्रण किया है। आधुनिक विज्ञापनों ने इन्हें काफी प्रसारित भी किया है। आप में से कुछ ने शायद इन चित्रों की प्रतियाँ देखी होंगी। मुझे आशा है कि इन व्याखानों से आपकी यह भावनायें कम नहीं होंगी, बल्कि जानकारी में वृद्धि के साथ और बढ़ेंगी। शायद आपको यह बात रोचक लगे कि हम ही ऐसे बालक नहीं है जो बुलबुलों से खेलते हैं। युगों पहले भी बच्चे यह खेल खेलते थे। यद्यपि इस का उल्लेख किसी प्राचीन लेखक ने नहीं किया है, लेकिन मुझे यह विदित है। एक बहुत ही प्राचीन एट्रियाई[2] फूलदान जिस पर बच्चे साबुन के पानी के बुलबुले फूंकते दिखाये गये हैं, पेरिस में लूव्र[3] के संग्रहालय में रखा है। हमारे पास ऐसा कोई साधन नहीं है कि हम बता सकें कि इन बच्चों ने कौन सा साबुन प्रयोग किया। संभवतः आप में से कुछ यह जानना चाहें कि मैंने साबुन के बुलबुलों का यह विषय क्यों चुना? यद्यपि एक आरंभिक विषय के रूप में इस से

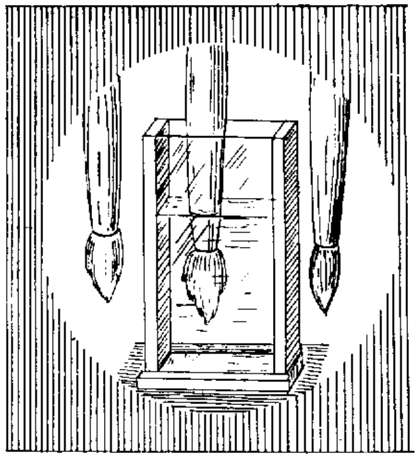
अधिक चमत्कारिक, सुंदर और रोचक विषय उपलब्घ है, लेकिन ऐसे विषय लगभग नगण्य है जिनका हमारे दैनिक जीवन से इतना सीधा संबंध हो। उन बलों को क्रियान्वित किये बिना जिनका उल्लेख मै करूंगा, आप किसी जग से पानी या चायदानी से चाय नहीं उड़ेल सकते। वास्तव में इसके बिना आप किसी भी द्रव से कोई कार्य नहीं कर पायेंगे।

अतः यहां आप जो सुनेंगे या देखेंगे वह जगह-जगह आप का ध्यान आकर्षित करेगा। सर्वाधिक महत्वपूर्ण बात यह है कि संबन्धित तथ्यों को स्पष्ट करने के लिये जो प्रयोग मै आपको यहां दिखाऊंगा उन्हें आप स्वयं दोहरा सकेंगे, केवल देखने और सुनने की अपेक्षा यह अधिक रोचक और शिक्षाप्रद होगा।

यह प्रयोग मै आपकों क्यों दिखा रहा हूं ? आप शायद तत्काल कहें- इनके बिना व्याख्यान अत्याधिक नीरस हो जायेंगे। यह बात सही है, लेकिन केवल यही एक कारण नहीं है। जब हम कोई नया ज्ञान अर्जित करना चाहते है, हमारे पास प्रायः दो रास्ते होते हैं। हम किसी ऐसे व्यक्ति से पूछ सकते है जिसके पास वह ज्ञान हो, अथवा विद्वानों के लेखों में उसे खोजने का प्रयास कर सकते है। यदि हमारे प्रश्नों का उत्तर देने में कोई सक्षम हो तो यह अच्छी योजना है। अन्यथा हमें दूसरा रास्ता अपनाना होगा- अर्थात् उपयुक्त प्रयोग द्वारा यह ज्ञान स्वयं अर्जित करना होगा। प्रयोग वास्तव में वह प्रश्न हैं जो हम प्रकृति से पूछते है। यदि प्रश्न हम उपयुक्त ढंग से प्रस्तुत करें और प्रयोग व्यवस्थित ढंग से करें, तो सही उत्तर देने को प्रकृति सदा तत्पर है। प्रयोग कोई ऐसी बाज़ीगरी नहीं है जो आपको चमत्कृत कर दे, न ही यह आप को अपनी सुंदरता या व्याख्यान की एकरसता कम करने के उद्देश्य से दिखाया जाता है। मेरे प्रयोग आप को सुंदर और रोचक प्रतीत हों तो यह अच्छा होगा, लेकिन इनका मुख्य उद्देश्य है कि आप विशिष्ट प्रश्नों का उत्तर स्वयं अपनी

आंखों से देख सकें।

अब मै एक ऐसे प्रयोग से आरंभ करूंगा जो शायद आप दर्जनों बार देख चुके हैं। मेरे हाथ में एक साधारण ऊँट के बालों का ब्रुश* है। यदि आप चाहते हैं कि इसके सब बाल एक नोकीले बिन्दु के रूप में चिपक जायें तो आप इसे गीला करते है और कहते है - गीले होने के कारण बाल चिपक गये। आइये, अब यह प्रयोग करके देखें। आप इस ब्रुश को पूरे कक्ष में नहीं देख सकेंगे, अतः मै इसके समक्ष एक लालटेन रख रहा हूं, जिससे इसका वर्धित रूप आप परदे पर देख सकेंगे। अभी यह ब्रुश सूखा है (चित्र 1, बांया भाग) और इसके बाल अलग-अलग दिख रहे है। अब मै इसे पानी में डुबो रहा हूँ। आप देख सकते है कि पानी से बाहर निकालने पर इसके बाल आशानुरूप चिपक गये (चित्र 1, दांया भाग)। हम अपने स्वभावानुसार शायद पुनः कहें कि गीले होने के कारण बाल चिपक गये। अब मै ब्रुश को पानी के अंदर रोके रहूँगा। आप देख रहे है यह अब बिल्कुल नहीं चिपक रहे है (चित्र1, मध्य)। ब्रुश पानी के अंदर है और इसके बाल निश्चित रूप से गीले है, लेकिन यह चिपक नहीं रहे है। स्पष्ट है कि बालों के चिपकने का जो कारण हम प्रायः देते है, वह पूर्णतः सही नहीं है। यह साधारण प्रयोग जिसमें एक ब्रुश और एक गिलास पानी के अतिरिक्त और कुछ नहीं चाहिये, यह प्रदर्शित करता है कि बालों को चिपकाने का कारण केवल उनका गीला होना नहीं है। इसका कारण कुछ और भी है, जो हम अभी

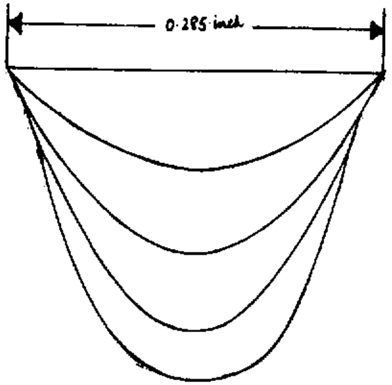


चित्र - 1

नहीं जानते।

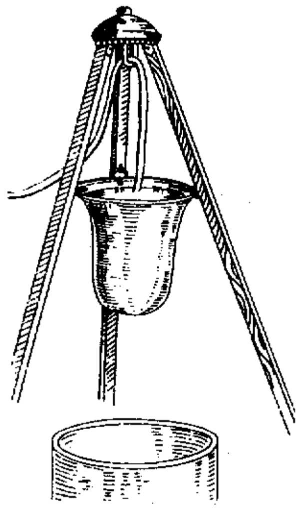
इससे यह भी प्रदर्शित होता है कि पानी के अंदर आंखें खुली रखने से संबन्धित एक बहु-प्रचलित धारणा सही नहीं है। प्राय: कहा जाता है कि आंखें बंद रख कर गोता लगाने पर, बाद में उन्हें खोलने पर पानी में ठीक दिखाई नहीं देगा, इससे बरौनियों के बाल आंखों पर चिपक जाते हैं। अत: पानी में देख पाने के लिये, गोता लगाते समय आंख खुली रखना आवश्यक है। वास्तव में ऐसा नहीं है। गोता लगाते समय आंखें बन्द हों या खुली, इससे कोई अंतर नहीं पड़ता, आप दोनों दशाओं में समान रूप से देख सकते हैं। ब्रुश के उदाहरण में आपने देखा कि जब तक बाल, अथवा कोई अन्य वस्तु पानी के अंदर है, यह इसे नहीं चिपकाता। ऐसा केवल इसे पानी से बाहर निकलने पर ही होता है। इस प्रयोग से हमें बालों के चिपकने का कारण पता नहीं चला, लेकिन यह जानकारी मिली कि इसका जो कारण हम प्राय: सोचते है वह सही नहीं है।

अब मै एक दूसरा सरल प्रयोग प्रस्तुत कर रहा हूँ। मेरी इस नली से पानी धीरे-धीरे बाहर निकल रहा है, लेकिन लगातार गिर नहीं रहा है। बार-बार एक बूँद बन कर धीरे-धीरे आकार में बढ़ती है। एक निश्चित माप प्राप्त कर लेने पर यह अचानक गिर पड़ती है। इस बात पर ध्यान दीजिये कि हर बार इसका माप और आकार समान होता है। यह केवल संयोगवश नहीं हो सकता, इसके पीछे अवश्य कोई कारण होना चाहिये। आखिर पानी रुका क्यों रहता है? यह



चित्र - 2

पर्याप्त भारी है और गिरने को तैयार है, लेकिन तब तक नहीं गिरता जब तक एक निश्चित माप प्राप्त नहीं कर लेता। अंतत: यह टूट कर गिर पड़ता है। ऐसा प्रतीत होता है कि जो इसे अब तक रोके था, और अधिक भार वहन करने के लिये अशक्त है। श्री वर्दिगटन ने भिन्न मापों की बूँदों का एक सुविचारित चित्र वर्धित पैमाने पर बनाया है। आप इसे परदे पर देख रहे हैं (चित्र 2)। इन चित्रों से ऐसा आभास होता है मानो पानी किसी लटकी हुई लचीली (प्रत्यास्थ) थैली में भरा हो, जो अधिक भारी हो जाने पर फट जाती है। वास्तव में ऐसी कोई थैली नहीं है, बूंदें जो आकार ग्रहण करती है उनसे ऐसा आभास-मात्र होता है। लेकिन मै एक प्रयोग द्वारा दिखा रहा हूँ कि यह कल्पना बेतुकी नहीं है। एक तिपाये आधार पर मैं लकड़ी का एक छल्ला टांग रहा हूँ। इस पर मैंने इंडिया-रबर[5] (खेलने वाले गुब्बारे की रबर) तान दी है। इस पर मै एक नली से पानी डाल रहा हूँ। इसके बढ़ते भार के कारण आप रबर को धीरे-धीरे फैलते हुऐ देखेंगे और यह चित्र (चित्र 3) में दिखाये गये आकार जैसा रूप ले लेगी। पानी की बढ़ती मात्रा के साथ इसका आकार अधिकाधिक फैलता है, और थैले पर तनाव बढ़ता है। अब लगभग एक बाल्टी पानी इसमें पहुंच चुका है। धीरे-धीरे यह उस अवस्था में पहुंच रही है, जब बूँद टिक नहीं पाती और टूट कर गिर पड़ती है। लेकिन इंडिया-रबर के थैले का आकार अब अचानक बदल जाता है।



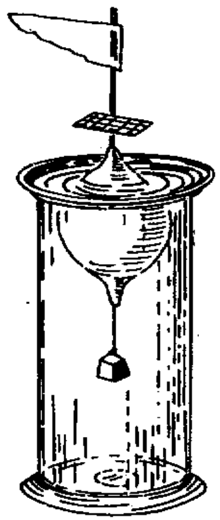
चित्र - 3

यद्यपि ऐसा प्रतीत होता है कि अब यह फट जायेगा, लेकिन इंडिया रबर में यह गुण है कि इसे निश्चित सीमा से अधिक तानना संभव नहीं है। इस सीमा के बाद यह कस जाती है, और बिना फटे अधिक तनाव झेल सकती है। अतः आप देख रहे है कि यह एक बहुत बड़ी बूंद के आकार में स्थायी रूप से लटक रही है, जिसका आकार टूटने से पहले पानी की सामान्य बूंद के समान है। मै अब साईफन[6] से पानी बाहर निकाल देता हूँ और इंडिया-रबर की यह 'बूंद' पुनः सिकुड़ जाती है। इस उदाहरण में एक वास्तविक प्रत्यास्थ थैली में भारी द्रव भरा गया, लेकिन पानी की बूँद में ऐसी कोई प्रत्यक्ष थैली नहीं होती। दोनों 'बूँदों' की समानता के आधार पर हम यह निष्कर्ष निकाल सकते है कि इन दोनों के आकारों और गतियों को नियंत्रित करने वाले कारण समान हैं। छोटी (वास्तविक) बूँद में भी इंडिया-रबर जैसा कुछ है जो इसे रोके रखता है।

आइये देखें इस प्रयोग और पिछले ब्रुश वाले प्रयोग में क्या समानता है। पिछले प्रयोग से हमें पता चला था कि बाल केवल गीले होने के कारण नहीं चिपकते, इसके लिये ब्रुश को पानी से बाहर निकालना आवश्यक है। दूसरे शब्दों में बालों को बांधने के लिये उन पर पानी की एक पर्त अथवा पृष्ठ (मूल लेखक ने इसके लिये 'त्वचा' शब्द का उपयोग किया है, यह हम अनुवाद में भी प्रयोग करेंगे) होना आवश्यक है। यदि हम मान लें कि पानी की यह पर्त एक लचीली त्वचा का कार्य करती है, तो दोनों प्रयोग हमारी समझ मे आ जाते है।

आइये, यह देखने के लिये कि क्या अन्य रूपों में भी पानी लचीली त्वचा का कार्य करता है, एक अन्य प्रयोग करें। देखिये, मेरे पास साधारण तार की यह संरचना (फ्रेम) है, इसमें ऊपर की ओर एक डंडी है और नीचे काँच का एक ग्लोब लाख से जोड़ दिया गया है। ग्लोब पर्याप्त बड़ा है, जिससे वह संरचना

को साधे रख कर पानी में तैर सकता है। इसके नीचे भार लटकाने की व्यवस्था है। संरचना को नीचे दबा कर मै इसे पानी से छुआ सकता हूँ। इसकी गतिविधियों को आपको स्पष्ट दिखाने के लिये मैने इस पर काग़ज़ की एक झंडी लगा दी है।

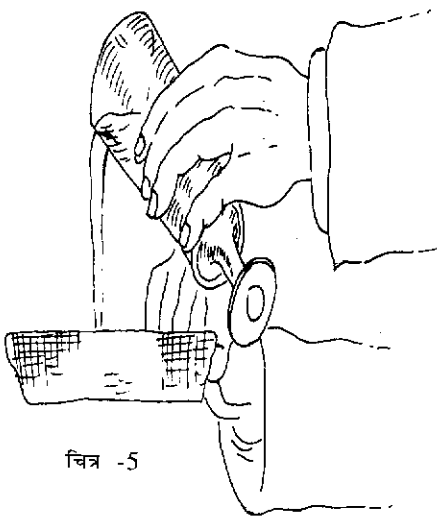


चित्र - 4

यदि पानी की त्वचा लचीली न होती तो यह इस संरचना के ऊपर उठने में कोई बाधा न डालती, जिसे मै इस समय पानी के अंदर रोके हूँ। अब मै इसे छोड़ रहा हूँ। यह तुरन्त उछल कर बाहर नहीं आती, बल्कि पानी की त्वचा से बंधी-सी रहती है। यदि मै पानी को इस प्रकार आंदोलित करूँ कि संरचना का एक किनारा ऊपर उठ सके, तो यह तुरन्त नाचना आरम्भ कर देती है (चित्र 4) आप देख सकते है, पानी की त्वचा पर्याप्त शक्तिशाली है क्योंकि उपकरण को ठीक पानी की सतह के अंदर डुबाये रखने के लिये लगभग एक-चौथाई आउंस[7] भार की आवश्यकता पड़ती है।

इस उपकरण का मौलिक वर्णन वैन्डे मेन्सब्रूघे ने किया था। कुछ मिनटों में मै इसका उपयोग पुनः करूँगा। पानी के ऊपर लचीली त्वचा का अस्तित्व मै और अधिक स्पष्ट रूप में प्रदर्शित कर सकता हूँ। देखिये, मेरे पास यह एक जाली है। इसके हर छेद से पिन गुज़र सकती है। जाली में लगभग ग्यारह हज़ार छेद

है। आप को पता है कि तार स्वच्छ पानी से गीला हो जाता है, अर्थात् पानी में डुबा कर बाहर निकालने पर यह भीग जाता है। इसके विपरीत कुछ अन्य पदार्थ, उदाहरणत: पैराफीन मोम[8] (जिससे मोम-बत्तियाँ बनती है) गीला नहीं होता और पानी से 'अनछुआ' बना रहता है। यह आप पैराफीन मोम-बत्ती को पानी में डुबा कर स्वंय देख सकते है। मैंने इस पैराफीन मोम[9] की कुछ मात्रा को पिघला कर, जाली को उसमें डुबा लिया है, जिससे इस पर मोम का आवरण चढ़ गया है। लेकिन गर्म अवस्था में ही इसे ठीक से झटक कर पैराफीन को छेदों से निष्कासित कर दिया है। आप पर्दे पर देख सकते है कि एक दो छेदों को छोड़कर, अधिकांश छेद अब भी खुले है और अब भी पिन इनमें सरलता से गुज़र सकती है।



चित्र -5

यह हमारा उपकरण है। यदि पानी पर कोई लचीली त्वचा है तो इसके तनाव के लिये बल की आवश्यकता होगी और पानी सरलता से जाली के दूसरी ओर नहीं जा पायेगा। वास्तव में जब तक इसे बल-पूर्वक जाली पार न करायी जाये, यह दूसरी ओर बिल्कुल नहीं पहुँचेगा। हर छेद में पानी की त्वचा अवरोधक सिद्ध होगी और इसे पार कराने के लिये दूसरी ओर खींचना आवश्यक होगा। आप समझ गये होंगे कि इस अवरोध के लिये जाली के तार का पानी से गीला होना आवश्यक है। पानी के गिरने की

शक्ति से इसका उस पार पहुँचना बचाने के लिये, मैंने जाली पर काग़ज़ का एक टुकड़ा बिछा लिया है, और मै इस पर पानी डाल रहा हूँ (चित्र 5)। अब तक मै लगभग आधा गिलास पानी डाल चुका हूँ, और इससे अधिक भी डाल सकता हूँ। मै कागज हटा देता हूँ पर पानी की एक बूँद भी जाली पार नहीं कर पाती लेकिन जाली को झटकने से यह पल भर में जाली के बाहर आ जाती है। इससे शायद आपको हमारे मित्र[10] सिम्पिल साईमन की यह पंक्तियां याद आ जायें :

"वह छलनी में पानी भरने गया
लेकिन वह बहुत शीघ्र बह गया।"

लेकिन आप देख सकते है कि उपयुक्त व्यवस्था करने पर यह विचार इतना बेतुका नहीं है।

अब मै जाली को झटक कर इसके छेदों से पानी निष्कासित कर, इसे पानी पर तैरा सकता हूं क्योंकि इसका भार पानी की त्वचा में खिंचाव उत्पन्न कर छिद्रों से पानी ऊपर चढ़ा पाने के लिये अपर्याप्त है। अत: पानी नीचे बना रहता है और जाली इस पर तैरती है। मैने अभी बताया इसमें 11000 छेद है जिनमें पिन गुजर सकती है, फिर भी पानी इसके ऊपर नहीं पहुंच पाता। यह प्रयोग इस बात का दृष्टान्त है कि पूर्णत: निरर्थक बातें लिखना कितना कठिन है।

शायद आपको लीअर की 'नान-सेन्स सान्गस'[11] (बेतुके गीतों) की यह कहानी याद हो :

"छलनी में वे समुद्री यात्रा पर गये,
हाँ वह गये उनके मित्रों ने जो कह सकते थे,
सब कहा जाड़ों में प्रात:काल,
एक तूफानी दिन वे समुद्री यात्रा पर गये।

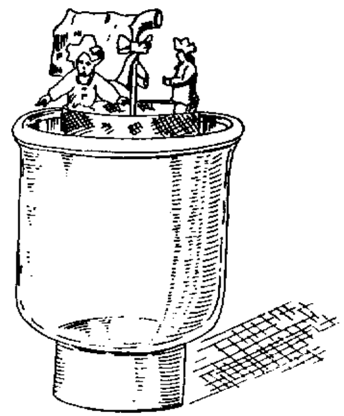
एक छलनी में वे समुद्री यात्रा पर
चल पड़े हाँ वह चल पड़े
वे छलनी में बहुत तेजी से निकल पड़े
तमाखू की नली को मस्तूल बना कर
पाल के रूप में उस पर
मटर जैसे हरे रंग की पट्टी बाँध कर''

* * * * * * * * * * * *

और इसी प्रकार और आगे। अब आप समझ सकते है कि छलनी यदि पर्याप्त बड़ी हो और समुद्र बहुत तूफानी न हो, तो उसमें समुद्री यात्रा संभव है। उपरोक्त कल्पना अपने पूरे विस्तार मे प्राप्य है (चित्र 6)।

मै पानी की इस लचीली त्वचा की शक्ति का एक और उदाहरण प्रस्तुत कर सकता हूँ। जब आप पतली गर्दन वाली किसी बोतल में गिलास से धीरे-धीरे पानी डालना चाहते है, अधिकांश पानी बोतल के किनारों की ओर से बह कर नीचे फैल जाता है। बहुत शीघ्रता-पूर्वक ऐसा करने पर, मार्ग छोटा होने के कारण, पानी पुनः नीचे फैल जाता है। लेकिन किसी डंडी या काँच की छड़ को गिलास के किनारे पर रोके रख कर, आप पानी बोतल में भर सकते है और अब यह बाहर नहीं गिरता। आप इस छड़ को एक और तिरछा भी रख सकते है, जैसा मै कर रहा हूँ। पानी इस गीली छड़ के सहारे अंदर जाता रहता है। छड़ के ऊपर पानी की लचीली त्वचा एक नली-सी बना लेती है, जो पानी को बाहर नहीं भागने देती। इस विधि का उपयोग देहातों में प्रायः छत का पानी नीचे लाने के लिये किया जाता है। लकड़ी की छड़ी लगभग वही कार्य करती है, जो लोहे का पतनाला, लेकिन इसका मूल्य अपेक्षाकृत बहुत कम होता है।

पानी की सतह के लचीलेपन के मै पर्याप्त प्रदर्शन दे चुका हूँ। मेरा आशय यह नहीं है कि पानी की सतह पर पानी से भिन्न कुछ और होता है, बल्कि यह कि सतह पर इसका चरित्र अंदर के पानी से भिन्न होता है। यहां यह इंडिया रबर की बहुत पतली झिल्ली जैसा आदर्श लचीलापन प्रदर्शित करता है, जैसा स्वयं इंडिया रबर में भी नहीं है।

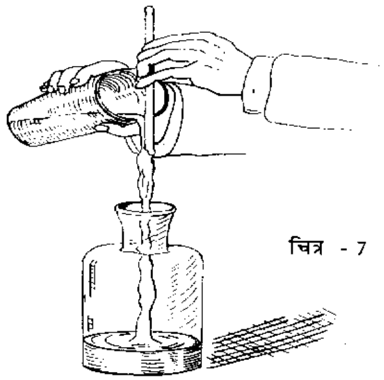


चित्र - 6

अब आप यह समझने की स्थिति में है कि बहुत पतली नलियों में पानी अपना तल क्यों बनाये नहीं रख पाता। मै लालटेन के समक्ष एक तश्तरी में नीला पानी रख रहा हूँ जिससे आप सरलता से इसे देख सकते है। मै इसमें काँच की एक बहुत पतली नली डुबा रहा हूँ। पानी इसमें तत्काल अपने सामान्य तल से लगभग आधा इंच ऊपर चढ़ जाता है। नली के अंदर का भाग गीला है, अतः पानी की लचीली त्वचा नली से चिपकी है। इसकी क्रिया से उत्पन्न बल पानी को ऊपर खींचता है और इसके समतुल्य भार को नली में रोके रखता है। यदि मै दुगने व्यास की नली लूँ, तो यह बल भी (जो नली में हर स्थान पर विद्यमान है) दुगुना होगा। लेकिन इससे पानी दुगना ऊपर नहीं उठेगा क्योंकि बड़ी नली की समान लम्बाई में ऊपर उठे पानी की मात्रा दुगनी से अधिक (चार गुना) है। अतः बड़ी नली में यह उस ऊँचाई तक भी नहीं पहुंच पायेगा जितना छोटी में। वास्तव में बड़ी नली में पानी छोटी की अपेक्षा अपने भार के अनुरूप, केवल आधी ऊँचाई तक ही ऊपर उठेगा। यहाँ

दोनों नलियां पास-पास रखी है और आप देख सकते है कि बड़ी नली में पानी की ऊँचाई छोटी की अपेक्षा आधी है। इस प्रकार यदि मै बाल के बराबर बहुत पतली नली लूँ, तो पानी इसमें बहुत अधिक ऊँचाई तक ऊपर चढ़ जाता है। लैटिन में बाल को 'कैपिलस', कहते है, अतः इस क्रिया को 'कैपिलरटी'[12] का नाम दिया गया है। इस का हिन्दी समतुल्य 'कोषिकत्व' है।

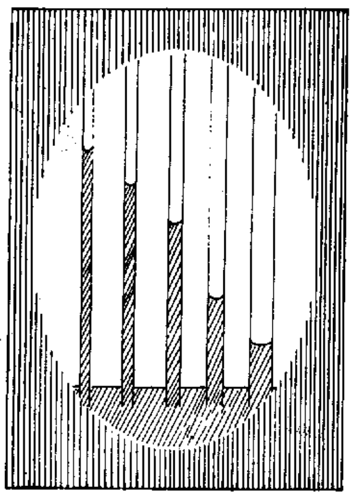
अगर आपके पास भिन्न-भिन्न व्यासों की अनेक नलियाँ है और आप उन्हें मापों के क्रमानुसार पानी में रख दें, तो सबसे पलती नली में पानी की ऊँचाई सर्वाधिक होगी और अन्य में यह क्रमशः कम होती जायेगी (चित्र 8)। अंत की बहुत बड़ी नली में इसका ऊपर उठना लगभग दिखाई ही नहीं देगा। इसी प्रकार का प्रभाव आप खिड़की के काँच के वर्गाकार जोड़े लेकर भी देख सकते है। इन में आप काँच के दो टुकड़ों को इस प्रकार रख सकते है कि इनका एक किनारा आपस में मिला हो, लेकिन दूसरी ओर माचिस की तीली अथवा कोई अन्य उपयुक्त वस्तु बीच में डाल कर इनमें कुछ दूरी बनी रहे। इंडिया रबर के छल्ले की सहायता से उन्हें इस अवस्था में आबद्ध रखा जा सकता है। इन प्लेटों के जोड़ों को मै रंगीन पानी में रख रहा हूँ। आप तत्काल देखेंगे कि इनके जुड़े किनारों की ओर से पानी चढ़ने लगता है। जैसे-जैसे प्लेटों के बीच की दूरी बढ़ती है पानी की ऊँचाई कम होने लगती है। इस प्रकार द्रव (रंगीन पानी) प्लेटों के बीच एक



चित्र - 7

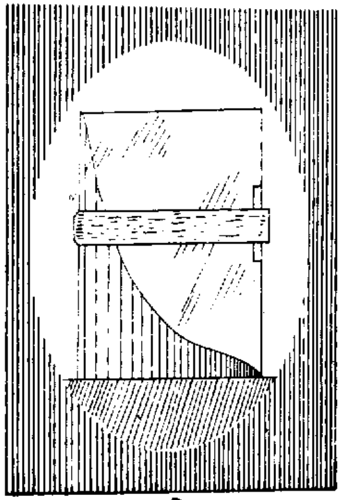
नियमित वक्र निर्मित करता है जिसे गणितज्ञ आयताकार अतिपरवलय (रेक्टांगुलर हाइपरबोला[13]) कहते है। बहुत शीघ्र मै इस वक्र तथा अन्य वक्रों की और अधिक चर्चा करूँगा। इस समय मै केवल इतना ही कहूँगा कि ऐसा अतिपरवलय इसलिये बनता है, कि पानी जैसे-जैसे ऊपर उठता है, प्लेटों के बीच की आपसी दूरी बढ़ने लगती है। वास्तव में यह वही बात हुई, क्योंकि वक्र के किसी भी छोटे भाग में पानी का भार समान होता है।

यदि यह नलियां और प्लेटें ऐसे पदार्थ से बने होते, जिसे पानी गीला न कर पाता तो इस तनाव का परिणाम द्रव को पतली नलियों के बाहर खींचे रखना होता। इस प्रभाव को पैराफीन-आवरित नलियों और प्लेटों में दिखाना कठिन है, मै एक अन्य द्रव, पारे[14] का प्रयोग कर रहा हूँ, जो स्वच्छ काँच को नहीं छू पाता। क्योंकि पारा अपारदर्शक है, इसमें छोटी काँच की नली डाल कर उल्लेखित प्रभाव देख पाना संभव नहीं है। लेकिन एक बड़ी नली में छोटी नली जोड़ कर यह प्रदर्शित किया जा सकता है। जैसा आप पर्दे पर देख रहे है, पारा पतली नली में चौड़ी नली की अपेक्षा नीचे है, लेकिन ऐसे ही उपकरण में पानी की स्थिति इसके ठीक विपरीत है (चित्र 10)।



चित्र - 8

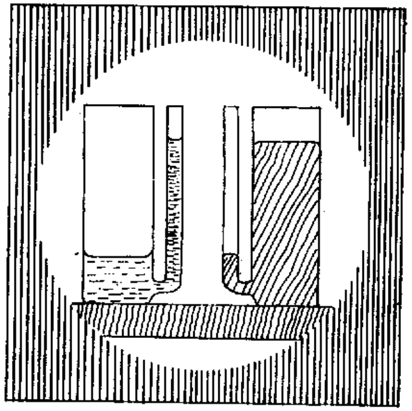
आप अब उन प्लेटों के जोड़ों पर विचार करें जो पास-पास रख कर पानी में अंशतः डुबाये जाते है। हम देख चुके है कि पानी इनके



चित्र - 9

बीच में ऊपर उठता है। उन दो प्लेटों के उस भाग पर, जिसमें अंदर पानी है और बाहर हवा का समान दबाव विपरीत दिशाओं में पड़ता है, (चित्र 11 में यह अक्षर द्वारा दिखाया गया है)। अतः प्लेटों के यह भाग परस्पर निकट आने या दूर हटने की कोई प्रवृत्ति नहीं दिखाते। प्लेटों के वह भाग जिनके अंदर और बाहर दोनों ओर पानी है (यह ब अक्षर द्वारा दिखाया गया है) भी ऐसी कोई प्रवृत्ति नहीं दिखाते क्योंकि इन पर भी दबाव दोनों ओर समान है। आप शायद सोचें कि प्लेटों के उस भाग में जहां पानी ऊपर चढ़ गया है, अंदर का दबाव बाहरी हवा के दबाव से अधिक होगा, और यहां यह परस्पर अलग हटने की प्रवृत्ति प्रदर्शित करेंगी। लेकिन पानी का दबाव इसकी गहराई पर निर्भर करता है, अतः प्लेटों के इस भाग; इद्ध में भी कुल मिला कर हवा का दबाव ही अधिक है, और प्लेटें परस्पर पास आने की प्रवृत्ति प्रदर्शित करती है (चित्र में यह तीरों से दिखाया गया है)। आप यह तथ्य एक साधारण प्रयोग द्वारा सरलता से देख सकते है। मेरे पास दो बहुत हल्की खोखली गोलियां है जो क्रिसमस वृक्ष[15] को सजाने के काम आती हैं। इनका एक सिरा लाख से बंद कर देने पर यह पानी पर तैरती हैं। यह दोनों पानी से गीली होती है, अतः पानी इनमें कुछ ऊपर चढ़ आता है। इनमें प्लेटों जैसी क्रिया मिलती है, यद्यपि इतने शक्तिशाली रूप में नहीं। लेकिन यह देखने में आप को कोई कठिनाई नहीं होगी कि जैसे ही मै इन्हें पानी में डालता हूँ ये

पर्याप्त शक्ति से एक दूसरे की ओर दौड़ती है। अब आप (चित्र 11) के मध्य भाग पर अपना ध्यान केन्द्रित करिये। यह दो ऐसी प्लेटें प्रदर्शित करता है, जो गीली नहीं होतीं। शायद आप किसी व्याख्या के बिना ही यह जान लेंगे कि ये निकट आने की प्रवृत्ति प्रदर्शित करेंगी और यह प्रयोग से स्पष्ट हो जाता है। दो अन्य गोलियाँ पैराफीन मोम में डुबा ली गयी है, जिससे यह अब गीली नहीं होतीं। यह दोनों भी पानी में परस्पर अलग करने पर एक दूसरे के पास तैर आती है, मानो स्वच्छ गोलियों की तरह ये भी एक दूसरे को आकर्षित करती है।



चित्र - 10

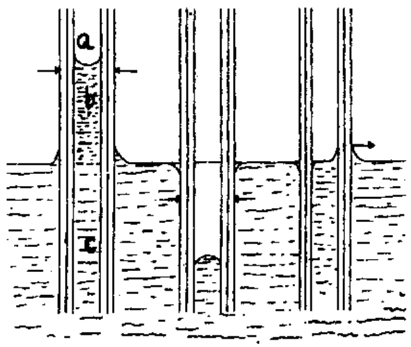
इन दो उदाहरणों पर पुनर्विचार करने पर आप देखेंगे कि जो प्लेटें गीली हो सकती हैं उनमें द्रव के तल की ऊपर उठने की प्रवृत्ति होती है और जो गीली नहीं होतीं उनमें यह नीचे गिर जाता है। इस प्रकार कोषिका-क्रिया के कारण द्रव का अंदर और बाहर का तल असमान हो जाता है। अब उस स्थिति की कल्पना कीजिये, जिसमें जोड़े की एक प्लेट गीली है, तथा दूसरी गीली नहीं है। इस स्थिति में जैसा चित्र में दायीं ओर दिखाया गया है, (यद्यपि बहुत ठीक से नहीं) द्रव का तल उस स्थान पर जहां यह अनगीली प्लेट को छू रहा है बाहर के तल से ऊपर तथा दूसरी ओर नीचा दिख रहा है। अतः प्लेटें एक-दूसरे से अलग होने की प्रवृत्ति प्रदर्शित करेंगी। यह बात गोलियों के एक जोड़े को जिनमें एक स्वच्छ, तथा दूसरी पैराफीन-आवरित है, पानी पर तैरा कर स्पष्ट दिखाई जा सकती है: ये एक दूसरे को विकर्षित करती है।

इस बात पर भी ध्यान दीजिये कि गीली प्लेट के पास द्रव की सतह वक्र है, जिसके अवतल की गहराई ऊपर की ओर है। अनगीली प्लेट के पास ठीक इसका उलटा है। सतह की वक्रता का प्राथमिक महत्त्व मैं आपको एक बहुत सरल प्रयोग द्वारा दिखा सकता हूँ, जिसे आप पिछले प्रयोग की तरह घर पर दोहरा सकते हैं। काँच के इस स्वच्छ बर्तन में यह स्वच्छ गोली तैर रही है। बर्तन अभी पानी से पूरा भरा नहीं गया है। गोली सदा तैर कर किनारे की ओर चली आती है। अब मैं धीरे-धीरे बर्तन में और पानी भर रहा हूँ और इसका तल बर्तन के किनारों से ऊपर ले आता हूँ। अब इसकी सतह बर्तन के समीप गोल है, पर गोली के समीप पिचकी (खोखली) है। गोली तैर कर मध्य की ओर आने लगती है। इसे किनारों की ओर रोकना संभव नहीं है। पैराफीन-आवरित गोली में आशानुरूप ठीक इसका उलटा होता है। पैराफीन-आवरित गोली की जगह आप कोई साधारण सुई भी ले सकते हैं। यदि यह पानी पर बहुत धीरे से रखी जाये तो यह इस पर तैरने लगती है, पर यदि गिलास पूरा भरा नहीं है तो यह सदा किनारों से दूर भागेगी। गिलास को किनारों तक भरने पर यह किनारे की ओर आने लगती है और संभव है कि गिलास के बाहर आ जाये। इसके विपरीत बुलबुले (जो पहले से काँच से चिपके थे), जल-पृष्ठ के बर्तन के किनारों से ऊपर उठते ही, आश्चर्यजनक ढंग से सहसा अंदर की ओर दौड़ पड़ते हैं। यह सहसा-परिवर्तन गिलास को लगभग पूरा भर कर, किसी कार्क को इसमें बार-बार धीर-धीरे डुबा और उठा कर सहजता से दिखाया जा सकता है। यह जल-स्तर को अपेक्षाकृत धीमी गति से परिवर्तित करेगा।

अब तक मैंने आपको प्रत्यास्थ त्वचा के बल का कोई परिमाणिक अनुमान नहीं दिया है। इन पतली नलियों, बूंदों तथा अन्य विधियों से किये गये अनेक मापन यह प्रदर्शित करते है कि यह लगभग तीन-चौथाई ग्रेन [16] प्रति वर्ग इंच के बल के समतुलय

है। अभी तक हमने यह जानकारी प्राप्त करने का कोई प्रयास नहीं किया है कि क्या पानी के अतिरिक्त और द्रवों में भी यह क्रिया होती है, और यदि ऐसा है तो क्या इनकी त्वचा की शक्ति समान है?

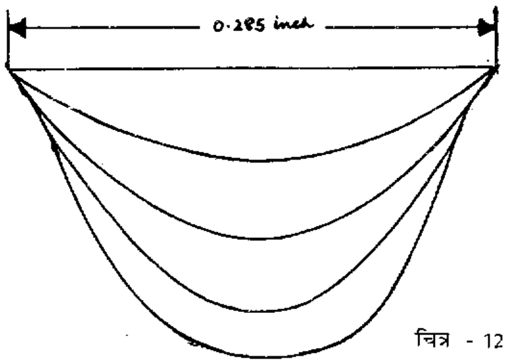
आप काँच की दूसरी वैसी ही नली देख रहे है, जिससे पानी की बूंदें निर्मित की गयी थीं, लेकिन द्रव अब एल्कोहाल[17] है। आप तत्काल देखेंगे कि इसकी बूंदों का भी निश्चित आकार और माप होता है, लेकिन यह पानी की बूंदों के बराबर बड़ी नहीं होतीं जो इनके पास ही गिराई जा रही हैं। इसका कारण समझने के लिये दो व्याख्याएं दी जा सकती हैं। पहला संभव कारण यह हो सकता है कि एल्कोहॉल पानी की अपेक्षा अधिक भारी द्रव है, यदि दोनों द्रवों की त्वचा को शक्ति समान है तो यह एल्कोहॉल की बूंदों के छोटे होने का कारण हो सकता है। लेकिन यदि एल्कोहॉल पानी से भारी नहीं है तो इसकी त्वचा पानी की त्वचा से कम शक्तिशाली होनी चाहिये। वास्तव में एल्कोहॉल पानी से हल्का है, और इसकी त्वचा पानी से दुर्बल है।



चित्र - 11

हम इस कथन की सत्यता का परीक्षण सहजता से प्रयोग द्वारा कर सकते है। आप जानते है रस्साकशी के खेल में शक्तिशाली पक्ष दुर्बल पक्ष को लाइन के दूसरी ओर खींच ले जाता है। आइये एल्कोहॉल और पानी को यही खेल खेलने दें। आप पानी को सहजता से देख सकें, इसलिये मैंने इसे

नीला रंग दिया है। यह इस श्वेत तश्तरी की तली में भरा है। इस समय पानी की त्वचा इसे सब दिशाओं में समान रूप से खींच रही है, अत: कोई क्रिया दृष्टिगोचर नहीं हो रही है। लेकिन जब मैं एल्कोहॉल की कुछ बूंदें पानी के मध्य में डालता हूँ, तो उस स्थान पर जहाँ यह दोनों द्रव आपस में मिलते हैं, दोनों में एक संघर्ष सा छिड़ जाता है। एल्कोहॉल पानी के अंदर प्रविष्ट करने का प्रयास करता है, पर पानी इसे बाहर धकेलने की प्रवृत्ति प्रदर्शित करता है।



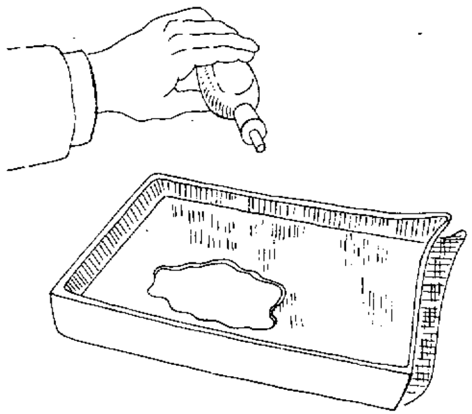
चित्र - 12

आप इस संघर्ष का नतीजा देखते हैं– पानी विजयी होता है। एल्कोहॉल की कुछ मात्रा साथ लिये यह सब दिशाओं में भागने लगता है और तश्तरी की तली को यह लगभग सूखा छोड़ देता है।

पानी और एल्कोहॉल या भिन्न-भिन्न सांद्रता वाले एल्कोहॉलों की त्वचा की शक्ति का अंतर एक विचित्र गति उत्पन्न करता है जो सांद्र अंगूरी मदिरा, वाइन[18], पोर्ट[19] आदि में देखी जा सकती है। इसमें मदिरा गिलास के किनारों पर बड़ी-बड़ी बूंदों के रूप में एकत्रित हो कर, पुन: नीचे बहती दीखती है। इसे निम्न व्याख्या से समझा जा सकता है– हवा की क्रिया से, गिलास में किनारों की ओर मदिरा की पतली सतह में पानी का वाष्पीकरण[20] होता है। अत: सतह पर नीचे की मदिरा की अपेक्षा एल्कोहॉल की सांद्रता बढ़ जाती है। इस कारण सतही मदिरा की त्वचा अधिक शक्तिशाली हो जाती है और यह नीचे की मदिरा को ऊपर खींचती है। इससे काँच के ऊपरी भाग में बूँदें निर्मित हो जाती

हैं। कुछ समय बाद यह पुन: गिलास में नीचे बह आती है। यह आप पर्दे पर देख रहे हैं (चित्र 14)। इस तथ्य का उल्लेख '*प्रावर्बस्*'[21] नामक प्राचीन पुस्तक में है: "शराब को उस समय न देख जब वह लाल है, वह अपना रंग प्याले को देती है और गतिशील है।"

यह गतिशीलता केवल सांद्र शराब में ही दीखती है। उस युग में जब उपरोक्त शब्द लिखे गये थे सब लोग शराब पीते थे। अत: वह यह जानते होंगे, और शराब के इस गुण को उस की सांद्रता जानने का आधार मानते होंगे। अत: आप सहमत होंगे कि उपरोक्त पंक्ति की प्रस्तुत व्याख्या सही है। मै चाहता हूँ आप इस बात पर विचार करें कि शायद प्राचीन पुस्तकों के अन्य लेखांशों में भी इसी प्रकार उस समय के प्रचलित ज्ञान तथा रीति-रिवाजों का उल्लेख हो।


चित्र - 13

ईथर [22] की त्वचा भी पानी की त्वचा से दुर्बल होती है। पानी की सतह पर ईथर की बहुत कम मात्रा भी अपना प्रभाव प्रत्यक्ष दिखाती है। तार की इस संरचना को मैंने अभी कुछ समय पहले पानी की त्वचा पर रखा छोड़ दिया था। यह अब भी उसी स्थिति में है। पानी की उत्प्लावकता (बायंसी [23]) काँच के गोले को ऊपर धकेलने का प्रयास कर रही है, लेकिन यह बल पर्याप्त

नहीं है। मै एक गिलास में कुछ ईथर ले रहा हूँ और केवल इसकी वाष्प पानी के पृष्ठ पर इस प्रकार डालूंगा कि द्रव की एक बूंद भी इस पर न गिरे। बहुत शीघ्र पानी की सतह पर पर्याप्त ईथर संघनित हो जाता है। इससे द्रव की त्वचा की शक्ति इस सीमा तक कम हो जाती है कि संरचना कूद कर पानी से ऊपर आ जाती है।

मै एक ऐसा उदाहरण प्रस्तुत कर रहा हूं जिसमें दो द्रवों की त्वचा शक्ति का अंतर हमारे लिये कठिनाई उत्पन्न करता है, लेकिन सही जानकारी होने पर हम इसका लाभ उठा सकते है। यह जानकारी काफी प्रचलित है। अगर हमारे कोट पर चिकनाई (ग्रीज़[24]) गिर जाये, तो आप इसे बेन्जीन [25] से हटा सकते है। लेकिन जब आप चिकानाई पर बेन्जीन लगा कर पुनः कुछ और ताजी बेन्जीन लगाते है तो निम्न क्रिया होती है– कोट पर चिकनाई-युक्त बेन्ज़ीन है, जिसकी त्वचा शुद्ध बेन्ज़ीन से अधिक शक्तिशाली है। अत: दोनों में 'रस्साकशी' होने लगती है और चिकनाई-युक्त बेन्ज़ीन विजयी हो कर सब दिशाओं में भागने लगती है। आप जितनी अधिक शुद्ध बेन्ज़ीन लगाते है, ग्रीज़युक्त बेन्जीन उतनी ही अधिक फैलती है। लेकिन यदि बोतल पर दिये निर्देशों का पालन किया जाये और चिकनाई के चारो ओर बेन्ज़ीन का एक घेरा बनाते हुऐ इसे लगाया जाये, तो चिकनाईयुक्त बेन्ज़ीन इस घेरे से दूर भागेगी और बीच में केन्द्रित हो जायेगी। अब आप इसे किसी पुराने कपड़े पर पहुंचा कर, पूरी चिकनाई हटा सकते है।

गर्म और ठंडी चिकनाई में भी अंतर होता है। आप यह अंतर घर जा कर साधारण मोमबत्ती जला कर देख सकते है। लौ के पास चिकनाई अधिक गर्म होती है, अत: इसकी त्वचा दुर्बल होती है। बाहर की ओर कम गर्म होने के कारण यह अधिक शक्तिशाली होती है, अत: बत्ती के द्रव के ऊपर एक स्थायी परिचालन बना रहता है। चिकनाई बाहर की ओर जा कर पुनः

निचली सतह में अंदर वापस आती रहती है। द्रव इस परिचालन में अपने साथ धूल के उन कणों को भी परिचालित करता रहता है, जिनकी सहायता से, बत्ती के नियमित रूप से जलने पर, उसे सहजता से देखा जा सकता है।

शायद आप जानते है कि गर्म कुरेदनी और सोखता काग़ज़ से चिकनाई किस प्रकार हटाई जा सकती है। इसमें भी इसी प्रकार की क्रिया होती है।

पानी पर तैरता प्रज्जवलित कपूर [26] भी एक ऐसा ही उदाहरण है। मै केवल एक उदाहरण और दूंगा।

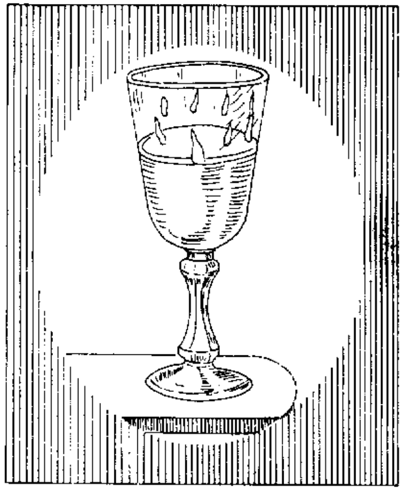
जब आप पानी के रंगों से चिकने काग़ज़ की चमकदार सतह पर पेंट करते है, रंग काग़ज़ पर ठीक से रुकते नहीं, बल्कि सर्व-विदित ढंग से फैलने लगते है। लेकिन रंगों में बहुत थोड़ा बैल का पित्त मिला देने से, वह अपने स्थान पर रुके रहते है। इसका कारण यह है कि बैल का पित्त तथा अपमार्जक (डिटरजेंट) पानी की त्वचा-शक्ति इतनी घटा देते है कि यह अब उन सतहों को गीला नहीं कर पाता। तार की संरचना का पुन: इस्तेमाल कर, पानी के पृष्ठीय तनाव (सरफेस टेंशन) की यह कमी स्पष्ट दिखाई जा सकती है। इसके ऊपर का ईथर अब उड़ गया है, मै पुनः इसे पानी में रोके रख सकता हूं, लेकिन किसी ब्रुश से पानी को बैल के पित्त से छूने पर यह पहले की तरह बहुत शीघ्र कूद कर ऊपर उठ आता है।

अब इस बात पर और अधिक बल देना आवश्यक नहीं है कि द्रव के बाहरी भाग में आदर्श लचीली त्वचा जैसा गुण है, जिसके कारण इसमें एक निश्चित तनाव है। अगर आप पानी की बहुत थोड़ी मात्रा लें – लगभग इतनी जो गरी के छिलके में समा सके और इसे नीचे छोड़ दें तो क्या होगा? यह नीचे गिर कर धरती से टकरायेगा। अब अगर आप इतना ही पानी सावधानीपूर्वक पैराफीन मोम की इस टिकिया पर फैला दें, जिस पर लाइकोपोडियम[27]

छिड़क दिया गया है (जो पानी से गीला नहीं होता) तो क्या होगा? अब भी पानी अपने भार के कारण चपटी टिकिया पर पैराफीन से चिपक कर फैलेगा। लेकिन यदि इसके भार को (जो इसे नीचे खींचता है) अप्रभावी बना दिया जाये तो क्या होगा? अब इस पर केवल लचीली त्वचा का बल ही क्रियाशील होगा। यह बल इसकी त्वचा को छोटे से छोटा आकार देने का प्रयास करेगा। बहुत शीघ्र यह पानी पूर्णत: गोल गेंद का रूप ले लेगा, क्योंकि कोई भी अन्य आकार इससे छोटा नहीं हो सकता। यदि पानी की इतनी मात्रा की अपेक्षा हम केवल पिन के सिर के बराबर पानी ले, तो उसका भार बहुत कम होगा। अत: वह बल जो पानी को पैराफीन से चिपकाने अथवा नीचे गिराने का कारण है, बहुत कम क्रियाशील होगा। इस स्थिति में पानी की त्वचा अधिक शक्तिशाली सिद्ध होगी और इसमें अधिक गढ़न- शक्ति होगी, यद्यपि इसका कारण मै अभी समझा नहीं सकूंगा। अत: हम यह अपेक्षा कर सकते है कि यदि बूँद पर्याप्त छोटी है, तो इसकी त्वचा की गढ़न-शक्ति इसके भार के बल को लगभग निरस्त कर देगी और बहुत छोटी बूँदें गोल गेंदों जैसी प्रतीत होंगी।

यदि यह तर्क समझना आपको कठिन प्रतीत हो, तो यह साधारण दृष्टांत इसे स्पष्ट कर देगा– आप में से कुछ शायद जानते हैं कि कागज को मोड़ कर किस प्रकार यह वस्तु बनायी जा सकती है जो मेरे हाथ में है (चित्र 15)। इसे बिल्ली-डब्बा (कैट-बॉक्स) कहते है, क्योंकि इसमें पानी भर कर फेंकने से बिल्लियाँ भाग जाती है। यह डब्बा जिसकी क्षमता आधा पांइट पानी की है, टाइम्स पत्रिका[29] के एक पृष्ठ के कुछ भाग से बनाया गया है। इसमें कागजी पृष्ठ की शक्ति पानी का भार संभाले रखती है, लेकिन किसी वस्तु से टकराने पर यह फट जाता है और पानी बाहर आ जाता है। लेकिन टाइम्स के पूरे पृष्ठ से बना यह बड़ा डब्बा केवल पानी का भार ही वहन कर पाता है, इसे लेकर चला जा सकता है, कुछ ऊँचाई से गिराया भी जा सकता है,

लेकिन फेंका नहीं जा सकता। इसी प्रकार पानी की अधिक मात्रा को इसकी त्वचा-शक्ति गोल गेंद का आकार देने में असमर्थ है, लेकिन छोटी बूँद को यह पूर्णत: गोल गेंद जैसा गढ़ सकती है। पारे से यह सहजता से देखा जा सकता है। इसकी बड़ी मात्राएं चपटी टिकियों के आकार में लुढ़कती है। लेकिन मेज़ पर पटक कर इसे छोटी बूँदों में तोड़ कर पारे की कम मात्राएं पूर्णत: गोल दिखती है। यही अंतर आप सोने की इन गोलियों में भी देख सकते है, जो अब पर्दे पर दिखाई जा रही है (चित्र16) यह अब ठोस अवस्था में है, पर इन्हें सोने को पिघला कर निर्मित किया गया था और बाद में बिना आन्दोलित होने दिये, ठंडा होने दिया गया था। यद्यपि बड़ी गोली अपने भार के कारण चपटी हो गयी है, छोटी पूर्णत: गोल दिख रही है। यदि आप मेज पर थोड़ा लाइकोपोडियम छिड़क दें तो यही बात आप पानी से भी देख सकते है। अब पानी की छोटी बूँदें भी पूर्णत: गोल आकार ग्रहण कर लेंगी। यह आप किसी धूल भरे दिन पानी से सड़क सींचते समय भी देख सकते हैं।

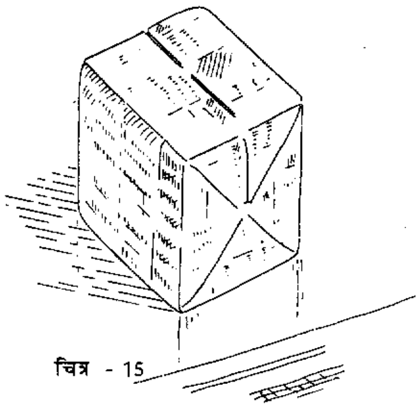


चित्र - 14

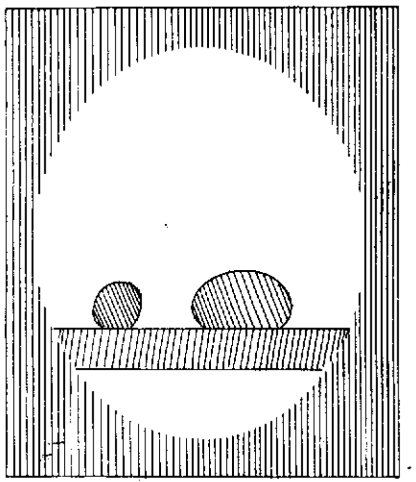
यदि द्रवों पर उनके भार के बल का प्रभाव न होता (जो उन्हें पृथ्वी की ओर खींचता है) तो बड़ी बूंदें भी छोटी बूंदों की तरह गोल होतीं। यह सर्वप्रथम अंधे प्रयोगवादी प्लैटो ने प्रदर्शित

किया था। यह उसने एक द्रव को दूसरे अमिश्रणीय द्रव के अंदर रख कर किया, जिसका भार (घनत्व) समान था। एल्कोहॉल का घनत्व तेल से कम है, जब कि पानी का अधिक है। एल्कोहॉल और पानी का ऐसा मिश्रण बनाया जा सकता है जिसका घनत्व तेल के घनत्व के बराबर हो। ऐसे मिश्रण में तेल ऊपर उठने या नीचे गिरने की कोई प्रवृत्ति नहीं दिखाएगा।

मैंने लालटेन के सामने एल्कोहॉल और पानी का ऐसा मिश्रण काँच के इस बक्स में रख दिया है। एक नली की सहायता से मै इसमें धीरे से तेल प्रवाहित करूंगा। नली हटा लेने पर आप देखेंगे कि यह मिश्रण के अंदर लगभग अखरोट [30] के आकार का गोला निर्मित कर रहा है। अब इसके अंदर तेल के ऐसे दो-तीन गोले बन गये है। ध्यान से देखिये जब मैं इनके किसी किनारे पर प्रहार करता हूँ, यह पुनः धीरे-धीरे गोल आकार ग्रहण कर लेते है। छोटे गोले बड़ों की अपेक्षा अधिक शीघ्रता से पुनः गोल हो जाते है। इस उपकरण से एक बहुत सुंदर प्रभाव उत्पन्न किया जा सकता है। इसका उल्लेख आवश्यक नहीं है, लेकिन उपकरण उपलब्ध है, अतः इसे दिखाना लाभ-प्रद होगा। उपकरण के मध्य भाग में एक धुरी है, जो एक चक्र से जुड़ी है। मै इस चक्र पर कुछ तेल लगा रहा हूँ। अब मै इसे धीरे-धीरे चलाऊँगा, तेल भी इसके साथ घूमेगा। इसकी गति धीरे-धीरे बढ़ाने पर, तेल सब दिशाओं में भागने को अभिमुख होगा, लेकिन लचीली त्वचा इसे



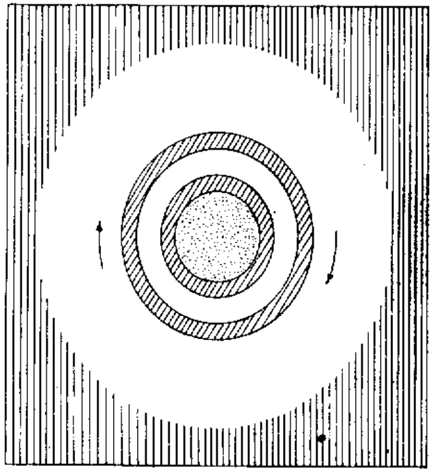
चित्र - 15



चित्र - 16

रोकने का प्रयास करेगी। परिणाम-स्वरूप गोला ध्रुवों पर पृथ्वी की तरह चपटा हो रहा है। चक्र की गति बढ़ाने पर, तेल की दूर भागने की प्रवृत्ति, लचीली त्वचा की शक्ति से बहुत अधिक हो जाती है और एक छल्ला टूट कर अलग हो जाता है (चित्र 17)। गति कम होने पर यह पुनः पहले वाले गोलक के ऊपर वापस आ जाता है। यदि इसे पर्याप्त तेज गति से चलाया जाये तो छल्ला टूट कर अनेक छोटी-छोटी 'गेंदों' में विभक्त हो जाता है (जो आप देख रहे हैं)। प्लैटो का यह सुंदर प्रयोग आपको अवश्य खगोलीय पिंडों की याद दिलायेगा। इसमें भी आप एक केन्द्रीय पिंड के चारों ओर भिन्न-भिन्न मापों के गोलों को एक ही दिशा में घूमते हुए देख रहे है (चित्र 18)। लेकिन इन दो उदाहरणों में क्रियाशील बल पूर्णतः भिन्न है और आप जो देख रहे है उसका सूर्य तथा ग्रहों से कोई संबंध नहीं है।

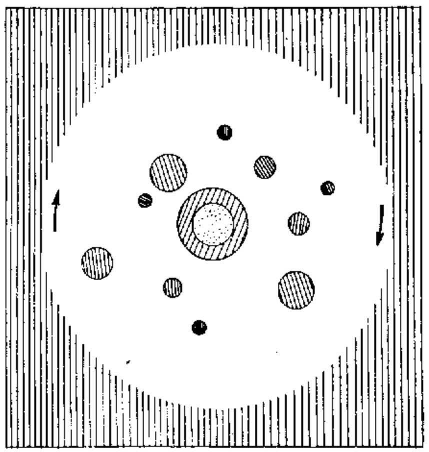
इस प्रकार हमने देखा कि यदि भार के बाधक प्रभाव को निरस्त कर दिया जाये तो द्रवीय त्वचा की प्रत्यास्थता-शक्ति से एक बड़ा गोला गढ़ा जा सकता है। साबुन के बुलबुलों में यह बाधक प्रभाव लगभग नगण्य है क्योंकि इनका भार लगभग नगण्य है। आप जानते है कि साबुन के बुलबुले पूर्ण रूप से गोल होते है और अब आप यह भी जानते है कि ऐसा क्यों होता है। कारण यह है कि इनकी लचीली झिल्ली इनका पृष्ठ न्यूनतम रखने का प्रयास करती है। यह इन्हें गोलक का आकार देकर ही



चित्र - 17

संभव है। इस तथ्य पर भी ध्यान दें कि बड़े बुलबुलों (उदाहरणस्वरूप तेल के बड़े बुलबुलों) को छोटे बुलबुलों की अपेक्षा बनाते[31] अथवा अन-आवरित बल्ले का प्रहार अधिक विकृत कर देता है लेकिन यह इनमें कम दोलन उत्पन्न करता है।

आज जो मुख्य निष्कर्ष प्रस्तुत करने का प्रयास मैंने किया है वह यह है – द्रवों का बाहरी भाग प्रत्यास्थ त्वचा जैसी क्रिया प्रदर्शित करता है। यह इसके अंदर के द्रव को ऐसा आकार प्रदान करता है जिसकी सतह यथासम्भव कम हो। आम तौर पर द्रवों के भार का बल (विशेषत: जब इनकी मात्रा अधिक होती है) प्रत्यास्थ त्वचा के बल की अपेक्षा बहुत अधिक होता है। इस स्थिति में द्रव की त्वचा शक्ति विशेष ध्यान आकर्षित नहीं कर पाती। लेकिन समान घनत्व वाले किसी मिश्रणीय द्रव के अंदर प्रविष्ट कर इसके भार का प्रभाव निरस्त कर अथवा बहुत



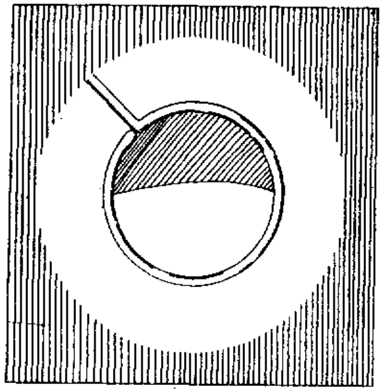
चित्र - 18

छोटी बूंदों या बुलबुलों (जिनका भार लगभग नगण्य होता है) में द्रव के लचीलेपन की शक्ति की पर्याप्तता प्रत्यक्ष देखी जा सकती है।

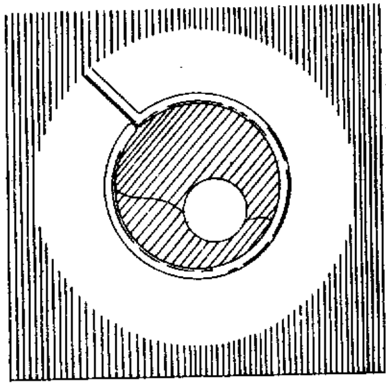
व्याख्यान -II

पिछले व्याख्यान में मैंने किसी सीधे प्रयोग से साबुन की फिल्म अथवा बुलबुलों में तानित इंडिया रबर जैसी प्रत्यास्थता प्रदर्शित नहीं की।

साबुन के बुलबुले में द्रव की बहुत पतली पर्त होती है जिसमें बाहरी और आंतरिक दो पृष्ठ होते हैं। यह निश्चित रूप से प्रत्यास्थ होते हैं। यह तथ्य अनेक विधियों से प्रदर्शित किया जा सकता है। एक छल्ले के बीच ढीला धागा बांध कर और इसे साबुन के घोल में डुबो कर यह अत्यंत सहजता से प्रदर्शित किया जा सकता है। बाहर निकालने पर इस छल्ले पर साबुन की एक तानित फिल्म बन जाती है, जिसमें धागा सरलता से चल सकता है। यह आप परदे पर देख रहे हैं। यदि मैं धागे के एक ओर की फिल्म तोड़ दूं तो दूसरी ओर की फिल्म तुरन्त इसे अपनी ओर खींचती है। यह यथासंभव उस की ओर खिंच कर अंत में कस जाता है (चित्र 19)। इस बात पर ध्यान दीजिये कि इस स्थिति में धागा पूर्ण वृत्त का एक भाग बन जाता है। इसमें फिल्म के ओर की जगह न्यूनतम तथा दूसरी ओर की अधिकतम होती है। एक दूसरे छल्ले में धागा बीच में दोहरा है। यदि मैं इनके बीच की फिल्म तोड़ दूं तो शेष फिल्म में खिंचाव के कारण बीच में एक पूर्ण वृत्त बन जाता है (चित्र 20)। केवल यही वह संभव रूप है, जिसमें फिल्म के अंदर का क्षेत्र न्यूनतम तथा बाहर का अधिकतम है। इस बात पर ध्यान दीजिये कि यद्यपि यह वृत्त का आकार बनाये रहता है, यह स्वतंत्रता पूर्वक छल्ले के अंदर चल सकता है, क्योंकि इससे बाहर के क्षेत्रफल में कोई परिवर्तन नहीं होता।

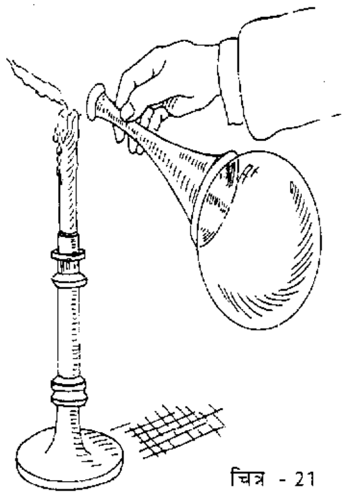


चित्र - 19

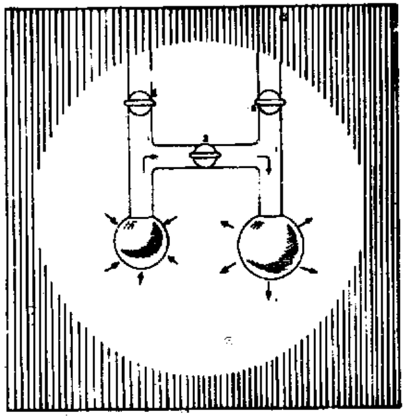


चित्र - 20

मैंने अब तार के एक छल्ले पर फूंक कर यह बुलबुला बना लिया है। इस पर मैं एक छोटा छल्ला टांग रहा हूँ। साथ ही और अधिक स्पष्ट रूप से प्रदर्शित करने के लिये कि इसमें क्या घट रहा है, मैं इसमें कुछ धुआँ डाल रहा हूँ। मैंने अब निचले छल्ले के अंदर की फिल्म तोड़ दी है। आप छल्ले को ऊपर उठते और धुँए को बाहर आते देख रहे है। यह दोनों बातें बुलबुले की प्रत्यास्थता प्रदर्शित करती हैं। इस बार मैंने एक चौड़ी नली के सिरे पर बुलबुला फूंक लिया है। नली का खुला सिरा मोमबत्ती के पास लाने पर, बुलबुले से बाहर आने वाली हवा तत्काल इसकी लौ को बुझा देती है। स्पष्ट है कि बुलबुला लचीले थैले जैसी क्रिया दिखा रहा है (चित्र 21)। आप देख रहे हैं कि साबुन के बुलबुले की लचीली

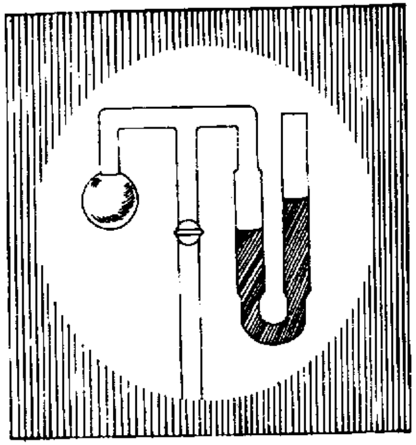


चित्र - 21



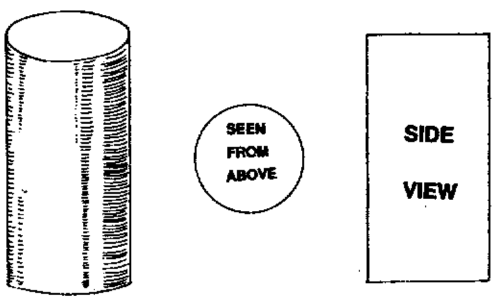
चित्र - 22

त्वचा के कारण अंदर की हवा पर दबाव है और इसके अंदर की हवा यथासंभव बाहर आने का प्रयास करती है। यह दबाव बड़े बुलबुले में अधिक होगा अथवा छोटे में? इस विषय में आपका क्या विचार है? आइये पहले हम प्रयोग द्वारा देखें फिर इसके कारण पर विचार करें। आप यह दो नलियाँ देख रहे हैं। दोनों में टोटियाँ लगी हैं और ये आपस में एक तीसरी नली से जुड़ी हैं, जिसमें तीसरी टोंटी लगी है। पहले मैं पहली नली के सिरे पर बुलबुला फूंक कर टोंटी 1 बंद कर रहा हूँ (चित्र 22)। फिर दूसरी नली पर बुलबुला फूँक कर टोंटी 2 भी बंद कर देता हूँ। दोनों बुलबुले लगभग एक ही माप के हैं लेकिन टोंटी 3 बंद होने के कारण, हवा एक-दूसरे में नहीं आ जा सकती। दबाव यदि बड़े बुलबुले में अधिक है, तो टोंटी 3 खोलने पर यह अपनी हवा छोटे बुलबुले में भेज देगा और दोनों बुलबुले बराबर हो जायेंगे। लेकिन दबाव यदि छोटे में अधिक है, इसकी हवा बड़े बुलबुले में चली जायेगी और छोटा बुलबुला अंततः लुप्त हो जायेगा। आइये अब प्रयोग कर के देखें। देखिये, टोंटी 3 के खोलते ही छोटा बुलबुला सिकुड़ कर समाप्त हो गया, और इसने दूसरे को फोड़ दिया। बुलबुलों में हवा की गति की दिशा तीरों द्वारा दर्शायी गयी है। मैं चाहता हूँ कि आप इस प्रयोग को ध्यान से देखें और स्मरण रखें, क्योंकि इस पर आगे बहुत कुछ निर्भर करेगा। आपकी स्मृति में यह तथ्य सुदृढ़ करने के उद्देश्य से मैं यही बात एक दूसरी विधि से प्रदर्शित कर रहा हूँ। लालटेन



चित्र - 23

के सामने एक U अक्षर के आकार की नली रखी है, जो पानी से लगभग आधी भरी है। U - नली का एक सिरा एक अन्य नली से जुड़ा है जिसके सिरे पर बुलबुला निर्मित किया जा सकता है (चित्र 23)। नली में पानी का स्तर देख कर आप जान सकते हैं कि बुलबुले का माप परिवर्तित करने से उसके अंदर के दबाव में क्या अंतर आता है। इस समय बुलबुला बहुत छोटा है, नली के साथ उपलब्ध पैमाने पर इसका दबाव लगभग चौथाई इंच है। बुलबुला धीरे-धीरे बढ़ रहा है और पैमाने पर दबाव घट रहा है। जब बुलबुला अपनी पहली माप से दुगुना हो जाता है, अंदर का दबाव घट कर आधा हो जाता है। यह तथ्य सदा लागू होता है: बुलबुला जितना छोटा होता है दबाव उतना ही अधिक, क्योंकि फिल्म जिस बल से तनी है वह समान बना रहता है। स्पष्ट है कि बुलबुले के अंदर का दबाव उसकी वक्रता पर निर्भर है। साधारण भाषा में रेखाओं के विषय में कहा जाता है कि वृत्त के किसी भाग की वक्रता बहुत तीखी होती है, लेकिन वृत्त बहुत बड़ा हो तो सरल रेखा और इसका अंतर पता ही नहीं चल पाता। किसी गेंद की सतह पर भी यही नियम लागू होता है। गेंद जितनी बड़ी होती है वक्रता उसमें उतनी ही कम। उदाहरण-स्वरूप गेंद का व्यास यदि 8000 मील हो तो इसका छोटा भाग समतल प्रतीत होता है। पानी का तल भी ऐसी सतह का भाग होता है। किसी बेसिन में स्थिर पानी चपटा दीखता है, लेकिन किसी बड़ी झील या समुद्र में आप इसकी वक्रता देख सकते हैं। हम देख चुके हैं



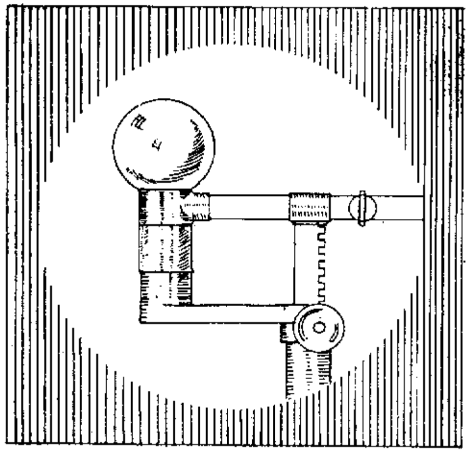
चित्र - 24

कि बड़े बुलबुलों में दबाव और वक्रता दोनों कम होते हैं, जबकि छोटे बुलबुलों में यह दोनों अधिक होते हैं। दबाव और वक्रता एक साथ बढ़ते और घटते हैं। अब हमें यह पाठ याद हो गया है, जो दो बुलबुलों के उस प्रयोग ने पढ़ाया था, जिसमें एक ने दूसरे को फोड़ दिया था। बुलबुलों को गेंद अथवा गोले के आकार के अतिरिक्त और आकार भी दिये जा सकते हैं। यदि दो छल्लों के बीच बुलबुलालेकर आप इसे दोनों ओर खींचे तो यह एक सीधी गोल नली काआकार ग्रहण कर लेगा, जो बेलन कहलाता है। हमने गोलकों (स्फियरों) की वक्रता की चर्चा की है, लेकिन बेलन की वक्रता क्या होती है? लकड़ी के किसी बेलन [32] को किनारों की ओर से देखने पर इसकी सतह सीध ी दीखती है, जिसमें किसी प्रकार की वक्रता नहीं है। लेकिन ऊपर की ओर देखने पर यह गोल दीखता है और इसमें निश्चित रूप से वक्रता है (चित्र 24)। हम देख चुके हैं कि गोलकों [33] के आकार के बुलबुलों में दबाव वक्रता पर निर्भर करता है। आकार चाहे जो हो, यह बात हर दशा में लागू होती है। अत: यदि हम पता लगा लें कि किस माप के गोलक में दबाव, बेलनाकार बुलबुले के अंदर की हवा के बराबर है, तो हम जान जायेंगे कि गोलक और बेलन की वक्रता समान है। अब मैं एक छोटी नली के दोनों सिरों पर सामान्य बुलबुले फूंक रहा हूँ। निचले बुलबुले को एक दूसरी नली की सहायता से खींच कर मैं इसे बेलनाकार बना लेता हूँ। इसमें हवा की कुछ और मात्रा डाल कर, मैं इसके किनारों को सीधा कर लेता हूँ। अब यह बेलनाकार हो गया है

(चित्र 25)। नली के दोनों ओर के बुलबुलों में दबाव बिल्कुल समान होना चाहिये, क्योंकि दोनों के बीच का रास्ता खुला है। इन दोनों को मापने पर पता चलेगा कि गोलक का व्यास बेलन से दुगुना है। दुगुने व्यास के गोले की वक्रता मूल गोले की वक्रता से आधी होती है। क्योंकि अंदर का दबाव समान है, हम इस निष्कर्ष पर पहुंचते हैं कि समान व्यास के गोलक की तुलना में, बेलन की वक्रता आधी होगी।

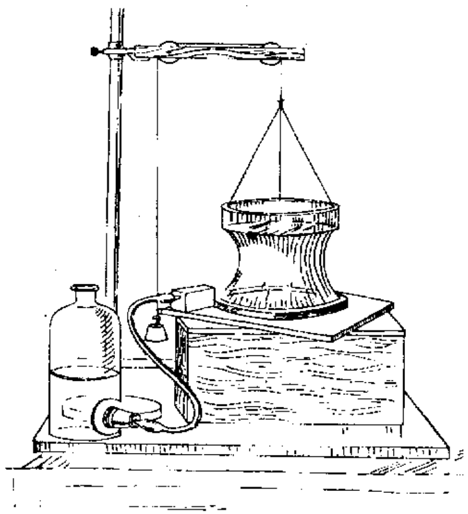
वक्रता की व्याख्या के विषय में मैं अब एक कदम आगे बढ़ूँगा। कुछ हवा और फूंक कर मैं गोलक का आकार बढ़ा रहा हूँ। बेलन के आकार पर इसका क्या प्रभाव पड़ेगा? आप देख रहे हैं कि बेलन बहुत छोटा है। क्या इसका आकार भी बढ़ जायेगा अथवा और कुछ होगा? गोलक में हवा फूंकने पर इसमें दबाव घट रहा है, बेलन के किनारे अंदर की ओर झुक रहे हैं। इसका आकार अब बेलनाकार नहीं रहा, इसमें 'कमर' विकसित हो रही है। जब मैं गोलक में हवा फूंक कर इसका आकार बहुत अधिक बढ़ा देता हूँ , बेलन के किनारों का झुकाव भी बढ़ता है, लेकिन अनिश्चित सीमा तक नहीं। आइये, अब हम गोलक को फोड़ कर इसमें दबाव पूर्णत: समाप्त कर दें, ताकि पहले वाले बेलन के अंदर की हवा को बाहर आने का मार्ग मिल सके। अब इस प्रयोग को बड़े पैमाने पर करें। मेरे पास काँच के ये दो छल्ले हैं, जिनके बीच में मैं वैसी ही फिल्म निर्मित कर सकता हूँ। न केवल साबुन की इस फिल्म की रूपरेखा अंदर की ओर वक्र है, बल्कि इसका आकार भी पहले जैसी छोटी फिल्म जैसा है (चित्र 26)। क्योंकि इसमें अब हवा का दबाव नहीं है, इसमें कोई वक्रता नहीं होनी चाहिये। क्या मेरा यह कथन सही है? साबुन की फिल्म की ओर ध्यान दीजिये, यह कौन कहेगा कि यह वक्र नहीं है। साथ ही हम इस निष्कर्ष से संतुष्ट हैं कि दबाव और वक्रता एक साथ घटती-बढ़ती हैं। ऐसा लगता है कि हम किसी बेतुके निष्कर्ष पर पहुंच रहे हैं क्योंकि बुलबुले में दबाव शून्य

है, हम कह रहे हैं कि इसकी सतह में वक्रता नहीं है, लेकिन इसमें वक्रता दिखाने के लिये बहुत अच्छी 'कमर' मौजूद है। अब मेज़ पर रखे हुए प्लास्टर के इस मॉडल की ओर ध्यान दीजिये जो समान आकार का 'कमर वाला' गणितीय मॉडल है।



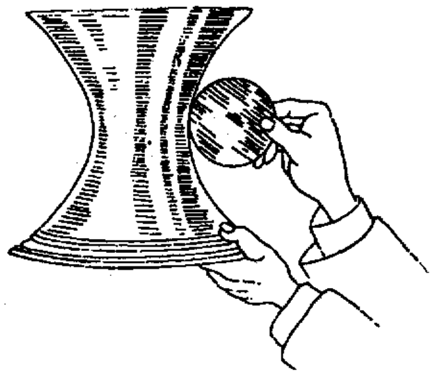
चित्र - 25

आइये इस मॉडल का विस्तृत परीक्षण करें। मेरे पास गत्ते की यह चक्रिका है, जिसका व्यास मॉडल की 'कमर' के व्यास के बराबर है (चित्र 27)। आप देख सकते हैं, इसकी वक्रता पूरे मॉडल की वक्रता के अनुरूप नहीं है, यह इस की कमर के समीप वाले भाग के अनुरूप है। अतः मॉडल का यह भाग, किनारों की ओर से देखने पर अंदर की ओर वक्र प्रतीत होता है पर ऊपर से देखने पर यह विपरीत दिशा में समान वक्रता प्रदर्शित करता है। केवल कमर की वक्रता पर विचार



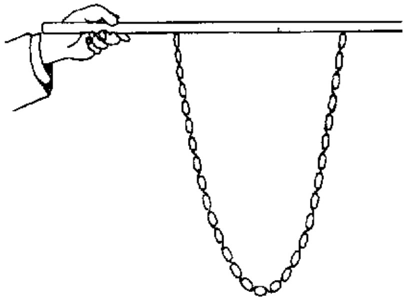
चित्र - 26

करने पर हम इस निष्कर्ष पर पहुंचते हैं कि इसमें दो विरोधी वक्रतायें हैं–अंदर की ओर की वक्रता हवा के दबाव को घटायेगी, और बाहर की ओर की वक्रता इसे बढ़ायेगी। क्योंकि यह दोनों परिमाण में बराबर हैं, ये एक दूसरे के प्रभाव को निरस्त कर देगीं और बुलबुले के अंदर हवा का कोई दबाव नहीं होगा। यदि हम 'कमर वाले' बुलबुले का इसी प्रकार परीक्षण करें तो पता चलेगा कि यह बात केवल इसकी 'कमर' ही के लिये नहीं बल्कि प्रत्येक भाग के लिये सही है। ऐसी प्रत्येक सतह जो विरोधी दिशाओं में समान वक्रता प्रदर्शित करती है, वक्रता-विहीन सतह मानी जाती है। अतः जो बात पहले बेतुकी लग रही थी, वह अब समझी जा सकती है। चपटी सतह के अतिरिक्त ऐसी सब सतहें जो किसी अक्ष के दोनों ओर सममित (सिमिट्री) प्रदर्शित करती हैं, कैटिना-रूपी या रज्जु-रूपी कहलाती हैं। यह जंजीर जैसी होती हैं और जंजीर लैटिन में 'कैटिना' कहलाती है। मैं अब एक समतल छड़ी के ऊपर एक जंजीर को लूप के रूप में टाँग रहा हूँ। इस पर मैं तीव्र प्रकाश डाल रहा हूं, ताकि आप इसे भली भांति देख सकें (चित्र 28)। स्पष्ट है कि उस बुलबुले के किनारों का रूप भी ऐसा ही है जिसे हमने दो छल्लों पर निर्मित किया है, और इनमें से एक को हवा से संपर्क के लिये खुला रखा है। (यदि पाठक को इन ज्यामितीय आकारों को समझना अत्यंत कठिन प्रतीत हो, तो वह इस भाग को छोड़ कर पृष्ठ.... से 'हमने पता किया था' से पुनर्आरम्भ कर सकता है।)

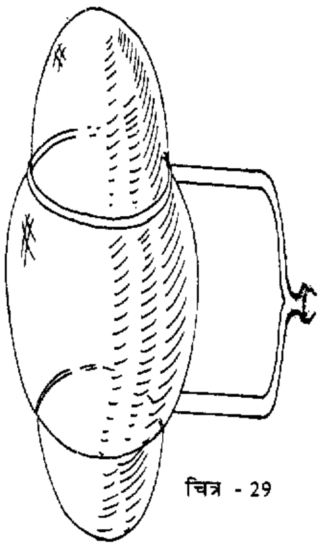


चित्र - 27

आइये अब हम दो छल्ले लेकर उनके बीच में एक बुलबुला निर्मित कर लें और अंदर का दबाव धीरे-धीरे परिवर्तित करें। आप किसी भी छल्ले के ऊपर की फिल्म देख कर (जिसे मैं 'टोपी' कह रहा हूं) अंदर के दबाव के विषय में बता सकते हैं। यह टोपी गोलक के भाग की समरूपी होनी चाहिये। हम जानते हैं कि इसकी वक्रता और अंदर का दबाव एक साथ बढ़ते और घटते हैं। मैंने अब बुलबुले में उपयुक्त मात्रा में हवा फूँक कर इसका आकार लगभग एक आदर्श गोलक के रूप में समायोजित कर लिया है। यदि मैं इसमें और अधिक हवा फूँकता हूँ तो टोपियों की वक्रता बढ़ जाती है और बुलबुले के किनारे गोलक के आकार से और अधिक उभरने लगते हैं। यह प्रदर्शित करता है कि अंदर दबाव बढ़ गया है। अब मैं पुनः इसे गोलक के आकार में वापस ले आया हूँ। अब दबाव में थोड़ी सी वृद्धि इसके किनारों में उभार और थोड़ी कमी चपटापन उत्पन्न करती है। उभार इसकी टोपियों की वक्रता में वृद्धि उत्पन्न करता है। अब इसके किनारे सीधे हैं और टोपियाँ आदर्श गोलक का भाग हैं (जिसका व्यास बेलन के व्यास का दुगुना होता है)। अब मैं



चित्र - 28



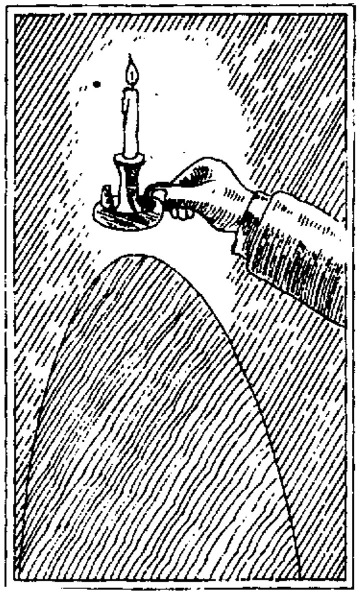
चित्र - 29

दबाव उस सीमा तक घटा रहा हूँ कि टोपियाँ पूर्णतः सपाट अर्थात् वक्रता-रहित हो जाती हैं। अब अंदर कोई दबाव नहीं है और बुलबुले के किनारे कैटिना-रूपी हो गये हैं। दबाव और अधिक कम होने पर बाहर के दबाव से भी कम हो जाता है। फलस्वरूप टोपियाँ अंदर की ओर झुकने लगती हैं और किनारे की 'कमर' कैटिना-रूपी आकार से भी पतली हो जाती है। इस प्रकार दबाव घटाने पर हमें निम्नलिखित सात प्रकार की वक्रतायें प्राप्त होती हैं:

1. गोलक के बाहरी भाग की
2. गोलक की
3. गोलक तथा बेलन के मध्य की
4. बेलन की
5. बेलन और कैटिना-रूपी की मध्यवर्ती
6. कैटिना-रूपी
7. कैटिना-रूपी की अपेक्षा अधिक अंदर झुकी हुई

अब मैं इन वक्रताओं के विषय में अधिक बात नहीं करूँगा, लेकिन इनके कुछ गुणों की चर्चा करूँगा। इनमें प्रथम है: टोपी निर्मित करने वाले गोलक की भाँति, इनकी वक्रता प्रत्येक भाग में समान होती है। दूसरा है: सब में यथासंभव न्यूनतम सतह घेरते हुए, हवा को परिबद्ध करने और छल्लों से जुड़ने की क्षमता। अंततः, क्योंकि दबाव के क्रमिक परिवर्तन के साथ यह निरंतर अपना आकार बदलते हैं, इन सब में अवश्य कोई विचित्र निकट संबन्ध होना चाहिये। यद्यपि यह समझ पाना कुछ कठिन है, मैं व्याख्या द्वारा इसे समझाने का प्रयास करूँगा। यदि मैं कहूँ कि सब वक्रतायें शंकु परिच्छेदो (कोनीय सेक्शनों) के रूलेट हैं[34] तो आप घबरा जायेंगे, लेकिन समझ कुछ नहीं पायेंगे। अतः मैं ऐसा नहीं करूँगा। इसकी अपेक्षा मैं आपके समक्ष एक सरल प्रयोग

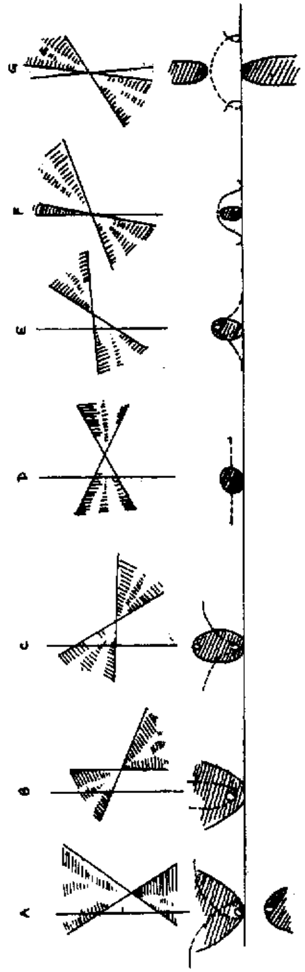
प्रस्तुत करूँगा, जो इस विषय पर प्रकाश डालेगा। आप इस प्रयोग को स्वयं घर पर कर सकते हैं।



चित्र - 30

मेरे पास यह गोल आधार वाला, शयनकक्ष का सामान्य बत्तीदान है[35]। इसे किसी सफेद दीवार के सामने सीधा पकड़िये । आधार की परछायीं आपको अतिपरवलय (हाईपरबोला) वक्र के रूप में दिखाई देगी। अब मोमबत्ती को धीरे-धीरे (दीवार से दूर) झुकाइये और परछाई के किनारों को ध्यान से देखिये । यह धीरे- धीरे विभक्त होने लगेगी, जब आप इसे इतना झुकायेंगे कि लौ आधार के किनारों तक पहुँच जाये (इस स्थिति की जानकारी आप को चिकनाई के बत्तीदान के किनारों पर गिरने और नीचे कालीन[36] पर फैलने से हो जायेगी) तो फर्श के निकट इसकी परछाई के किनारे आप को लगभग समानांतर दीखने लगेंगे (चित्र 30) और परछाई का आकार परवलय (पैराबोला)[37] रूप ले लेगा। अब बत्तीदान को और अधिक झुकाने पर (जिस से चिकनाई आधार को छुए बिना धार बन कर कालीन पर गिरने लगेगी) आप परछाई के किनारों को मुड़ते हुए तथा दीवार पर मिलते हुए देखेंगे। अब आपको एक ऐसा अंडाकार वक्र प्राप्त हो रहा है जिसके किनारे समान है। यह दीर्घ-वृत्त (इलिप्स) कहलाता है। बत्तीदान को और अधिक उस समतल स्थिति तक झुकाने पर जिससे चिकनाई इससे दूरी पर गिरने लगे, परछाई लगभग वृत्त का रूप ले लेगी (यदि मोम बत्ती

भड़क न उठी तो यह बिल्कुल सही वृत्त होगा)। यदि अब भी आप बत्तीदान को उस स्थिति तक झुकायें कि यह उलटा हो जाये (लौ नीचे की ओर आ जाये) तो पिछली सब वक्रतायें उलटे क्रम में पुनर्उत्पन्न होंगी।



चित्र - 31

आप पूछ सकते हैं कि इस सबका साबुन के बुलबुलों से क्या संबंध है। यह आप कुछ देर में समझ जायेंगे। मोम-बत्ती जलाने पर बत्तीदान का आधार अपने नीचे की जगह में अंधेरा कर देता है। यह अंधकार-पूर्ण जगह वृत्ताकार होती है और लौ से दूरी के साथ इसका क्षेत्र बढ़ता जाता है। ऐसा आकार शंकु (कोन) कहलाता है। इसका लकड़ी का एक मॉडल मेज पर रखा है। दीवार पर दीखने वाली सभी छायाएं ऐसे कोन की दीवारों का ही कोई न कोई भाग हैं। वास्तव में यह वह आकृतियाँ हैं, जो आप शंकु को आरी से काट कर प्राप्त कर सकते हैं। अतः जो वक्रतायें मैंने आपको दिखायी उन्हें शांकव परिच्छेद (कोनीय सेक्शन) कहते हैं। ऐसे परिच्छेदों के कुछ मॉडल मेज़ पर रखे हैं। यदि आप परदे पर प्रस्तुत चित्र पर ध्यान दें (चित्र 31) तो सर्वप्रथम आप पूरा कोन सीधी स्थिति (।) में देखेंगे।

इसके बाद आप क्रमशः वह उल्लेखित स्थितियाँ देखेंगे, जो इसे झुकाने पर मिलती हैं। चित्र के ऊपरी भाग की काली रेखा कोन को काटने का स्थान दर्शाती है और नीचे का छायाकृत क्षेत्र, छायाओं अथवा काटे गये टुकड़ों का (जो परिच्छेद अथवा सेक्शन कहलाते हैं) सही आकार प्रस्तुत करता है। प्रत्येक परिच्छेद में एक अथवा दो ऐसे बिन्दु हैं जिन्हे फोकस कहते हैं। यह चित्र में स्पष्ट बिन्दुओं द्वारा दिखाये गये हैं। वृत्त के उदाहरण में (क्ए चित्र 31) यह बिन्दु वृत्त का केन्द्र है। अब यदि फोकस के आर-पार एक पेन्सिल डालकर वृत्त को पहिये की तरह लुढ़कने दिया जाये, तो पेन्सिल वह सरल रेखा खींच देगी जो चित्र में बिन्दुचिन्हित दिखाई गयी है। लेकिन अन्य परिच्छेदों को इस प्रकार पहिया बनाने पर फोकस में से गुज़रने वाली पेन्सिल सरल रेखा नहीं बनायेगी। इसमें कैसी आकृति बनेगी, यह तुरन्त पता नहीं चलता। आइये पहले हम दीर्घवृत्ताकार परिच्छेदों में से किसी पर विचार करें (बएम्एथ्ए) जो आपको वृत्त के दोनों ओर दीख रहे हैं। इन्हें लुढ़काने पर पेन्सिल ऊपर और नीचे दोनों ओर चलेगी, इस प्रकार जो रेखा बनेगी वह पहले की भांति चित्र के निचले भाग में बिन्दुचिन्हित दिखायी गयी है। इसी प्रकार अन्य परिच्छेदों में भी फोकस के आर-पार पेंसिल डाल कर तथा परिच्छेदों को सरल रेखा पर लुढ़काने के प्रयास में अन्य बिन्दुचिन्हित रेखायें निर्मित होंगी।

हम अब लगभग इस स्थिति में हैं कि शांकव परिच्छेदों और साबुन के बुलबुलों का संबंध समझ सकें। आप वह प्रयोग स्मरण कीजिये, जिसमें दो छल्लों के बीच साबुन का बुलबुला फूँक कर उसमें दबाव परिवर्तित किया गया था। इस प्रयोग में बुलबुले की रूपरेखा ने विभिन्न आकारों का एक अनुक्रम प्रस्तुत किया था और इनमें से कुछ चित्र 31 में प्रस्तुत बिन्दुचिन्हित रेखाओं के समान थे। प्रत्येक दशा में उपयुक्त शांकव परिच्छेद के फोकस में पेंसिल डालकर और सरल रेखा पर इन्हें लुढ़का कर इनका सही स्वरूप निर्मित किया जा सकता है। आपको याद

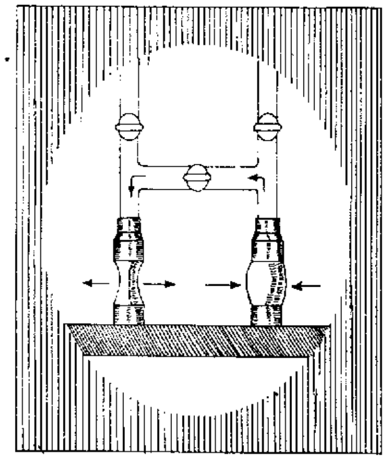
होगा कि बुलबुले के एक विशिष्ट आकार को मैंने कैटिना-रूपी कहा था। यह उस स्थिति में निर्मित हुआ था जब अंदर कोई दबाव नहीं था। बिन्दुचिहिन्त वक्र ठ का रूप ऐसा ही है। मैं इसके अनुरूप परिच्छेद (जिसे परवलय और अंग्रेजी में पैराबोला[37] कहते हैं) के फोकस में खड़िया डालकर और इसे काले बोर्ड के किनारे के सहारे लुढ़का कर बना रहा हूँ। आप देख सकते हैं इसकी वक्रता कैटिना-रूपी है। यह सब समझना कुछ कठिन है, लेकिन साबुन के बुलबुले की विभिन्न आकार ग्रहण करने की क्षमता सातत्यता के महत्वपूर्ण सिद्धान्त का बहुत सुंदर उदाहरण है। अतः इस विषय को अछूता छोड़ देना मुझे अनुचित प्रतीत हुआ। मैं इस बात को इस प्रकार कह सकता हूँ : छल्लों के जोड़ों के बीच अनेक आकारों के बुलबुले फूँके जा सकते हैं, यदि इनमें दबाव भिन्न है तो वक्रतायें भी भिन्न होंगी, लेकिन इनकी वक्रता की प्रकार पूर्णतः भिन्न नहीं हो सकती। हमने देखा शांकव परिच्छेदों को पहियों की तरह लुढ़का कर बुलबुलों की समस्त वक्रतायें प्राप्त की जा सकती हैं, इससे इनकी परिवर्तन-क्षमता की निरंतरता प्रमाणित होती है। यही बात हमने मोम-बत्ती के उदाहरण में भी देखी थी। इसे धीरे-धीरें झुकाने पर इसकी परछाइयों का आकार भी ऐसी निरंतरता से ही परिवर्तित हुआ था। परवलय केवल एक ही बना था, यह उस दशा में जब शंकु का किनारा इसके परिच्छेद के समानान्तर था अर्थात् नीचे गिरने वाली चिकनाई बत्तीदान के किनारे को ठीक छू रही थी। केवल एक ही बुलबुला ऐसा होता है जिसमें कोई दबाव नहीं होता, यह है कैटिना-रूपी। यह परवलय परिच्छेद लुढ़काने पर बनता है। शंकु का झुकाव धीरे-धीरे बढ़ाने पर परिच्छेद आरंभ में दीर्घवृत्ताकार फिरधीरे-धीरे गोल और अंततः पतला होकर रेखाकार बन जाता है। बुलबुलों की अनुरूपी वक्रतायें धीरे-धीरे दबाव बढ़ाने पर मिलती है। जैसा चित्र दिखा रहा है बुलबुलों की वक्रता आरम्भ में लहरदार, इसके बाद सीधी अर्थात बेलनाकार (D), पुनः लहरदार (E) तथा (F)

और अंत में जब परिच्छेदित तल अर्थात चित्र के ऊपरी भाग की काली रेखा शंकु के शीर्ष बिन्दु से गुजरती है, यह अर्ध-वृत्तों का अनुक्रम प्रस्तुत करती है जो सामान्य गोलाकार बुलबुले की द्योतक है। शंकु को थोड़ा और झुकाने पर इसके परिच्छेद का एक नया स्वरूप प्राप्त होता है (G)। इसे लुढ़काने पर एक विचित्र वक्रता बनती है, जिसमें एक फंदा सा होता है। इसका कारण समझाने में बहुत समय लगेगा। शंकु की अन्य स्थितियों और बुलबुलों की अनुरूपी वक्रतायें खोजने में भी बहुत समय लगेगा। चित्र को ध्यानपूर्वक अध्ययन कर आप स्वयं यह प्रयास कर सकते हैं। मैं केवल इतना बता दूँ कि बुलबुलों की सतह संबंधी जानकारी चित्र 31 में बिन्दुचिहिन्त रेखाओं को इसके निचले भाग की रेखा के चारों ओर घुमाने से प्राप्त होती है। थोड़े प्रयास से आप बहुत शीघ्र यह जान लेंगे कि किसी भी बुलबुले में एक समय में उपरोक्त वक्रताओं की अधिक लम्बाई प्राप्त कर पाना संभव नहीं है लेकिन इनके छोटे टुकड़े सरलता से प्राप्त किये जा सकते हैं। इसके लिये बहुत साधारण उपकरणों की आवश्यकता पड़ती है। इनकी सहायता से आप चित्र 31 में प्रदर्शित वक्रता का एक पूरा फंदा बना सकते हैं, जिसे 'नोडायड' कहते हैं। अस्थायी होने के कारण पूरा फंदा नहीं देखा जा सकता लेकिन इसका कुछ भाग देखा जा सकता है। तार का एक टुकड़ा या माचिस की तीली लेकर इसमें कुछ सीसा बांध लीजिये ताकि यह साबुन के पानी से भरी तश्तरी में सीधी खड़ी रह सके। इसका लगभग आधा इंच बाहर निकला रहने दीजिये। एक हाथ से, कांच की एक प्लेट तीली पर रोके रखिये। इसके सहारे पानी में बुलबुला फूँकिये। काँच की सतह (जो इससे गीली होनी चाहिये) से संपर्क होने पर बुलबुला ऐसे बेलन का आकार ग्रहण कर लेगा, जिसका वृत्त इस पर टिका होगा। अब धीरे-धीरे प्लेट को तिरछा कीजिये। बुलबुला तुरन्त नीचे बह आयेगा और स्वयं को माचिस की तीली से दूर खीचेंगा। इस प्रकार नोडायड-रूपी फंदा बन जायेगा। यदि तीली

अथवा तार को इस प्रकार मोड़ दिया जाये कि बुलबुला साबुन के घोल और काँच की सतह के बीच समकोण बना सके तो इसका आकार ठीक नोडायड के फंदे जैसा होगा। मैंने यह वर्णन इतने विस्तार से इसलिये किया है क्योंकि सामान्यत: यह विदित नहीं है कि साबुन के बुलबुले से नोडायड का पूरा फंदा निर्मित किया जा सकता है।

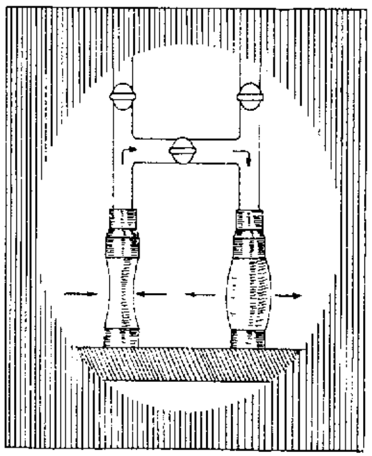
हमने पता किया था कि छोटे बेलन के आकार के बुलबुले में दबाव उस समय कम होता है जब इसमें 'कमर' निर्मित होने लगती है और उस स्थिति में अधिक जब इसमें उभार दीखता है। आइये, इन दो विरोधी प्रभावों को संतुलित कर परस्पर निरस्त करने का प्रयास करें। चित्र 32 में दिखाये गये उपकरण में जैसे ही मैं, बीच की टोंटी खोलकर हवा का मार्ग खोल देता हूँ उभरा बुलबुला अपनी हवा 'कमर' वाले बुलबुले में भेज देता है और वह सीधा आकार ग्रहण कर लेता है। चित्र में हवा की दिशा और बुलबुलों के किनारों का परिवर्तन तीरों द्वारा दिखाया गया है। आइये, अब यही प्रयोग अधिक लंबे बेलनाकार बुलबुलों पर करें जिनकी लम्बाई चौड़ाई की अपेक्षा लगभग दुगुनी है। यह दोनों अब तैयार हैं--एक उभार वाला और दूसरा 'कमर' वाला। मैं टोंटी खोलकर हवा का मार्ग खोल देता हूँ। 'कमर' वाला बुलबुला उभार वाले का आकार और बढ़ा देता है और स्वयं बंद हो जाता है। (चित्र 33)इस प्रकार लम्बा बेलनाकार बुलबुला छोटे बुलबुले से पूर्णत: विरोधी परिणाम प्रदर्शित करता है। विभिन्न मापों के बुलबुलों पर प्रयोग से पता चलेगा कि यह परिवर्तन उस स्थिति से आरम्भ होता है जब इनकी लम्बाई चौड़ाई की अपेक्षा लगभग डेढ़ गुना होती है। यदि इन दो नलियों के सिरे आपस में जोड़ दिये जायें तो आप देखेंगे कि ऐसा बुलबुला जिसकी लम्बाई चौड़ाई से तीन गुने से अधिक है पल भर से अधिक नहीं टिक पाता। इसका कारण क्या है? वास्तव में इसके सिरे के थोड़ा सा सिकुड़ने पर भी बुलबुले के इस भाग में दबाव बढ़ जाता है और

वह अपनी हवा चौड़े सिरे में ढकेल देता है (चित्र 34)। ऐसा उस समय तक होता रहता है जब तक पतले सिरे के दोनों किनारे आपस में जुड़ नहीं जाते। स्थिर बुलबुले की लम्बाई इसके व्यास के तीन गुने से केवल कुछ अधिक हो सकती है। जब इसकी लम्बाई परिधि के बराबर पहुँचने लगती है, यह अस्थिर होने लगता है। परिधि व्यास की 22/7 गुना होती है।



चित्र - 32

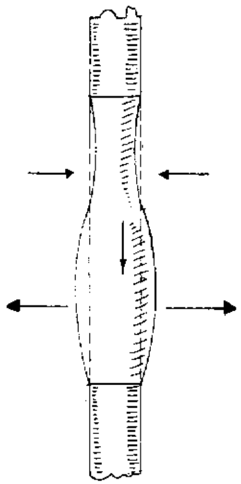
हवा की आपूर्ति बनाये रखते हुए मैं इन छल्लों को धीरे-धीरे अलग कर रहा हूँ। आप देखेंगे कि जब बेलनाकार बुलबुले की लम्बाई चौड़ाई से तीन गुने से बढ़ने लगती है इसे संभालना बहुत कठिन हो जाता है। अब अचानक इसमें सिरे की ओर 'कमर' बन जाती है और यह दो असमान माप के बुलबुलों में विभक्त हो जाता है।



चित्र - 33

स्पष्ट है कि किसी द्रव के लम्बे बेलन का आकार अधिक टिक नहीं पाता। यह अवश्य छोटी बूंदों की श्रृंखला में टूट जाता है। पानी की गिरती हुई धारा

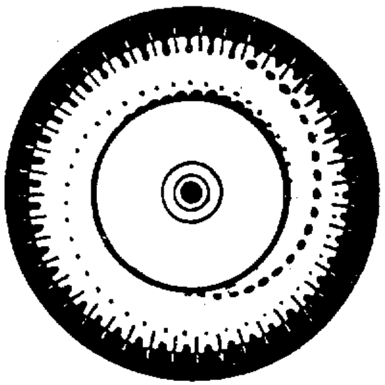
में, परिवर्तन इतनी शीघ्रता से होते हैं कि बूंदों की गतिशीलता अलग-अलग दिखाई नहीं देती। लेकिन मैं दो-तीन विधियों से यह दिखा रहा हूँ आपको याद होगा हम एक द्रव की बड़ी बूँद दूसरे द्रव में निर्मित करने में सफल हुए थे, क्योंकि इस प्रकार बूँद के भार का प्रभाव निरस्त किया जा सकता है। बड़ी बूँदों में दोलन कम होता है और उनका आकार इतनी शीघ्रता से परिवर्तित नहीं होता। अतः इनमें घटनाक्रम देख पाना आसान है। काँच के इस छोटे बक्स में नीला पानी है जिस पर वह पैराफीन तैर रही है जिसे कार्बन डाई सल्फाईड[38] नामक दुर्गन्धियुक्त और खतरनाक द्रव से मिश्रित कर अधिक भारी बना लिया गया है।



चित्र - 34

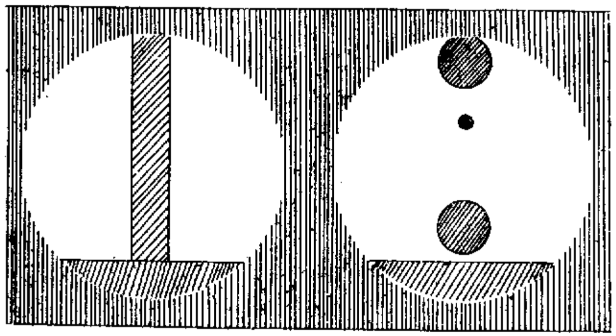
पानी इस मिश्रण से केवल थोड़ा अधिक भारी है। किसी नली को इसमें डुबा कर भरने के बाद ऊपर उठाकर मैं इससे धीरे-धीरे बूँदें गिरा सकता हूँ। अब लगभग शिलिंग[39] के आकार की बूंदें बन रही हैं। प्रत्येक बूंद में समुचित बड़ी हो जाने पर ऊपर की ओर 'गर्दन' बन जाती है जो इसके निचले भाग के भार के कारण एक बेलनाकार स्वरूप ले लेती है। आपने इस बात पर ध्यान दिया होगा कि 'गर्दन' का द्रव स्वयं एक छोटी बूंद के रूप में एकत्र हो रहा है, जो बड़ी बूंद के तत्काल बाद नीचे गिर जाती है। यह क्रिया इस समय इतनी धीमी गति से चल रही है कि आप इसका पूरा क्रम देख सकते हैं।

चित्र 35 में बूंद के क्रमिक विकास और गिरने की क्रिया के सेकिन्ड के बीसवें भाग में लिये गये क्रमिक दृष्य समन्वित

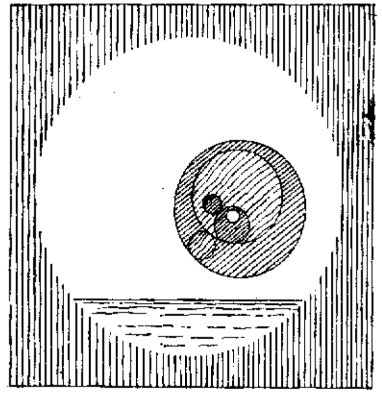


चित्र - 35

फोटो-चित्र के रूप में प्रस्तुत है (इस चित्र की उपयोगिता जानने के लिये पृष्ठ......देखिये)। अब मैं पुनः शीघ्रता से नली भरकर, इससे द्रव गिरा रहा हूँ। आप सहजता से देख सकते हैं कि इस प्रकार द्रव का एक बेलन निर्मित हो जाता है, जो छोटी-छोटी गोलियों में टूट जाता है (चित्र 36)। अब क्योंकि मैंने यह उपकरण बना लिया है हम पैराफीन मिश्रित पानी के बुलबुले फूँक सकते हैं। इनमें से कुछ में, दूसरे द्रव की बूँदें देखी जा सकती हैं। ऐसा एक संयुक्त बुलबुला आप भारी द्रव की सतह पर टिका स्पष्ट देख रहे हैं (चित्र 37)। नली को शीघ्रतापूर्वक बक्स से बाहर निकालने पर पैराफीन मिश्रित पानी का एक लम्बा बेलनाकार बुलबुला निर्मित हो जाता है और यह धीरे-धीरे गोलाकार बुलबुलों में टूट जाता है।

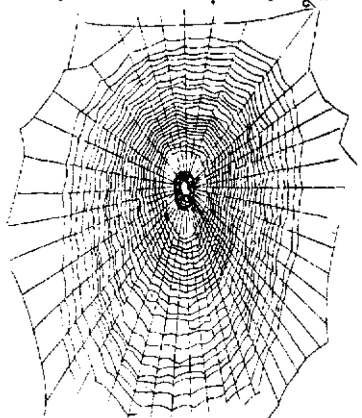


चित्र - 36



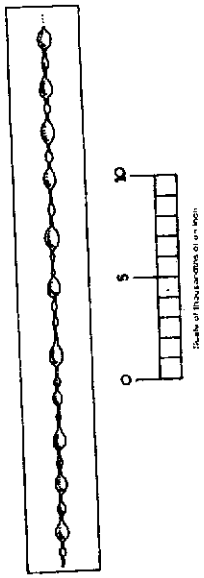
चित्र - 37

आपको द्रव के लम्बे बेलन की बूंदों में टूटने की प्रक्रिया प्रदर्शित करने के बाद अब मैं दूसरी सीमा की ओर बढ़ रहा हूँ और अत्याधिक बारीक बेलन का उदाहरण ले रहा हूँ। चित्र 38 में आप मकड़ी[40] का अपने ज्यामितीय जाले[41] के अंदर देख रहे हैं (चित्र इस जाले का फोटो है)। यदि मेरे पास समय होता तो मै आपको इस अद्भुत जीव के विषय में बहुत कुछ बताता और बताता कि यह सुंदर संरचना यह कैसे निर्मित करती है। लेकिन इस समय मैं केवल इतना ही बताऊँगा कि जाले दो प्रकार के होते हैं। एक जो बाहर की ओर फैले होते हैं, चिकने और सख्त, दूसरे जो गोलाकार अत्यंत लचीली छोटी-छोटी चिपचिपी गोलियों से बने होते हैं। पर्याप्त बड़े जाले में चौथाई लाख से अधिक ऐसी गोलियाँ होती हैं जो मकड़ी के भोजन के लिये कीड़े पकड़ती हैं। मकड़ी यह पूरा जाला लगभग एक घंटे में बना लेती है। प्रायः इसे प्रति दिन नया जाला बनाना पड़ता है। गोलों में घूम-घूम कर गोलियों को चिपकाने की विधि की जानकारी इसे होती भी तो इतने कम समय में यह ऐसा जाला न बना पाती। इसकी अपेक्षा यह द्रव-बेलन की छोटी-छोटी गोलियों में टूटने की प्रक्रिया का उपयोग करती है। यह एक धागा निर्मित



चित्र - 38

कर इसे एक चिपचिपे द्रव से गीला कर लेती है। आरम्भ में इसका स्वरूप बेलनाकार होता है, लेकिन यह स्थिर नहीं रह पाता और गोलियों में टूट जाता है। यह सूक्ष्मदर्शी यंत्र की सहायता से एक वास्तविक जाले के फोटोचित्र में बहुत स्पष्ट दिख रहा है (चित्र 39)। इसमें आप एकान्तरतः बड़ी और छोटी बूँदें देख रहे हैं। कहीं-कहीं इनके बीच अतिरिक्त छोटी बूँद भी दीख रही है। इसके साथ ही मैंने इंच के हजारवें भागों के एक पैमाने का वर्धित चित्र भी पास ही में प्रस्तुत कर दिया है, ताकि आपको इन गोलियों के माप का आभास हो सके। प्रमाण-स्वरूप मैं आपको एक ऐसा जाला दिखा रहा हूँ जो मैंने स्वयं बनाया है। यह क्वार्टज[42] के पतले रेशे को रेंड़ी के तेल[43] में डुबा और पटककर निर्मित किया गया है। इसमें भी वैसी ही बड़ी और छोटी गोलियाँ स्पष्ट दीख रही हैं, जैसी मकड़ी के जालों में दिखती हैं (चित्र 40)। वास्तव में केवल देखकर मकड़ी और मेरे इस जाले को पहचानना कठिन है। दोनों में यह समानता भी है कि वास्तविक जाले की तरह, मेरा जाला भी कीड़े पकड़ने में सक्षम है। आप कह सकते हैं कि तेल के अंदर पानी का बेलन अथवा धागे के ऊपर अतिसूक्ष्म बेलन और पानी की प्रधार एक नहीं है। पानी की प्रधार भी क्या यही प्रक्रिया प्रदर्शित करेगी? अगले चित्र में (चित्र 41) पानी के बारीक कालम का फोटो-चित्र दिखाया गया है। यह बिजली की तत्कालिक चिंगारी की सहायता से उत्पन्न प्रकाश में लिया गया है और सवा तीन गुना आवर्धित है। आप देख रहे



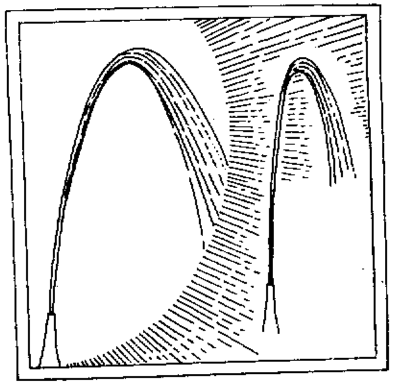
चित्र - 39

हैं, आरंभ में इसका स्वरूप बेलनाकार है लेकिन नीचे गिरने पर इसमें 'गर्दन' और 'उभार' निर्मित होने लगते हैं और गोलियाँ अलग होने लगती हैं। अब आप छोटी बूँदें देख सकते हैं। इनमें दोलन होता है और यह बारी-बारी से लम्बा और चौड़ा रूप ग्रहण करती रहती है। प्रधार का चमकदार भाग अविरल प्रतीत होता है, लेकिन वास्तव में यह छोटी गोलियों से निर्मित है। यह दृष्टि के सामने से इतनी तेजी से गुज़र जाती है कि इन्हें अलग-अलग देख पाना संभव नहीं हो पाता। (यह फोटो लेते समय मैंने एक सीटी से शक्तिशाली ध्वनि उत्पन्न की थी जिसका कारण मैं बाद में बताऊँगा)।

चित्र - 40

लार्ड रैले[44] न प्रधार की 'गर्दनों' का विस्तृत अध्ययन किया है। उन्होंने प्रदर्शित किया है कि इंच के पच्चीसवें भाग व्यास की मोटाई वाली प्रधार में निर्मित 'गर्दनों' की गहराई सेकिन्ड के प्रत्येक चालीसवें भाग में हजार गुना बढ़ जाती है (यद्यपि यह पता नहीं चलता)। अतः यह समझना कठिन नहीं है कि ऐसी प्रधार केवल कुछ इंच गिरने पर ही टूटने लगती है। उन्होंनें स्वतंत्र बूँदों की दोलन गति का अध्ययन भी किया है। दो इंच व्यास की बूंद एक सेकिन्ड में अपना दोलन पूरा कर लेती है। यदि व्यास घटा कर चौथाई कर दिया जाये दोलन-समय घटकर आठवाँ भाग हो जाता है और व्यास सौ गुना कम करने पर दोलन-समय हज़ारवाँ भाग रह जाता है। व्यास और प्रधार के टूटने का यह संबंध बेलन पर भी लागू होता है। हम यह सरलता से अनुमान लगा सकते हैं कि मकड़ी के जाले की माप की गोलियों का दोलन किस गति से होगा। यदि हम इसका व्यास एक इंच का आठ-सौवाँ भाग मान लें (वास्तव में यह इससे भी पतली होती है) तो इसका व्यास दो इंच का सोलह सौवाँ

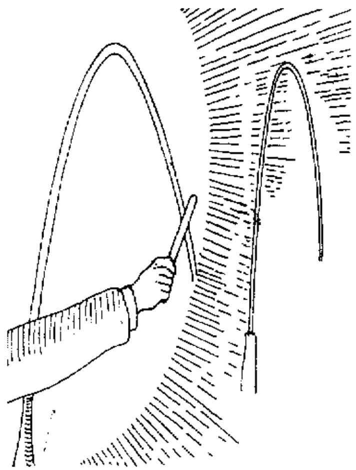
भाग होगा। दो इंच व्यास की गोली का दोलन एक सेकिन्ड में एक बार होता है अतः उपरोक्त बूँद का दोलन चौंसठ हज़ार गुना अधिक तीव्र होगा। अर्थात् यह एक सेकिन्ड में चौंसठ हज़ार बार दोलित होगी। छोटी गोलियों के माप की गोलियाँ, जिनका व्यास इंच के तीन हज़ारवें भाग से कम होता है एक सेकिंड में आधी लाख बार दोलित होंगी। यह दोलन उनमें केवल उनके दुर्बल प्रत्यास्थ प्रभाव के कारण होगा। स्पष्ट है कि पर्याप्त छोटी बूँदों पर उनकी लचीली त्वचा का प्रभाव कितना अधिक है। अब मैं एक छोटा फव्वारा निर्मित कर रहा हूँ और इसके पानी को कागज के पन्ने से टकराने का अवसर दे रहा हूँ। आप यह फव्वारा और परदे पर इसकी छाया दोनों देख रहे हैं। ध्यान देने पर आप देख सकते हैं कि पानी थूथन (नॉजिल) से बेलनाकार रूप में बाहर आ रहा है। यह अब चमक रहा है और इसकी विलगित बूँदें काफी दूर तक फैल रही है। (चित्र 40) लेकिन कुछ दूरी के बाद यह एक ही राह नहीं अपनाती। इसकी व्याख्या प्रयोग द्वारा प्रमाणित करने की अपेक्षा मैं क्रम बदल रहा हूँ। पहले मैं एक दो प्रयोग दिखा रहा हूँ। शायद यह आपको किसी जादू की तरह लगें, लेकिन हैं बहुत सरल। यदि कोई अविवेकी व्यक्ति इन्हें कुछ शताब्दियों पहले दिखाता, तो उसे जीवित जला दिये जाने का खतरा उठाना पड़ता।



चित्र - 41

आप अब थूथन का पानी सब दिशाओं में फैलता हुआ देख रहे हैं। कागज़ पर गिर कर यह उससे टकराने की आवाज उत्पन्न कर रहा है। मैं अपनी जेब से लाख की छोटी डंडी

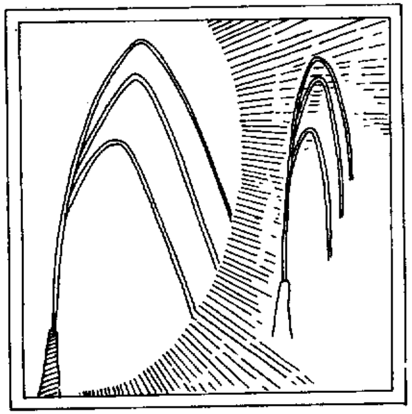
निकाल रहा हूँ। यद्यपि मैं कुछ दूर खड़ा हूँ और कुछ छू नहीं रहा हूँ, दृष्य तत्काल बदल जाता है। पानी का फैलना रुक जाता है और अब यह एक अनवरत धार का रूप ले लेता है।(चित्र42) कागज़ पर गिर कर यह धार टकराहट की शक्तिशाली आवाज़ उत्पन्न कर रही है। यह आपको तूफानी वर्षा की याद दिलायेगी। मैं फव्वारे के कुछ पास आ जाता हूँ। पानी फिर फैलने लगता है लेकिन अब भिन्न ढंग से। अब पहले की अपेक्षा बहुत बड़ी-बड़ी बूँदें गिर रही हैं। मैं लाख को छिपा देता हूँ, पानी का जेट अब पुनः अपने पिछले रूप में वापस आ जाता है।



चित्र - 42

लाख की जगह मैं अब एक धुआँ देने वाली लौ ले रहा हूँ। यह एक डंडी के सिरे पर बेन्जीन से भीगी रुई जला कर सरलता से प्राप्त की जा सकती है। जब तक लौ फव्वारे से दूर रखी जाती है, इसका कोई प्रभाव नहीं होता, लेकिन इसके अंदर से पानी गुजारने पर फव्वारे का पानी फैलना बंद हो जाता है। अब सारा पानी एक लाइन में चलता हुआ, गंदी काली धार के रूप में कागज़ पर गिरता है। किसी बारीक बाल जैसी नली से बहुत थोड़ा तेल लौ में डालने से भी ऐसा ही होता है।

मैं मेज़ के दूसरी ओर एक स्वरित्र द्विभुज (ट्यूनिंग फोर्क) की ध्वनि उत्पन्न कर रहा हूँ। इससे फव्वारे के स्वरूप में कोई अंतर नहीं हो रहा है। लेकिन अब मैं इस द्विभुज के आधार को छूती हुई एक लम्बी छड़ी थूथन पर टिका देता हूँ। पानी पुनः



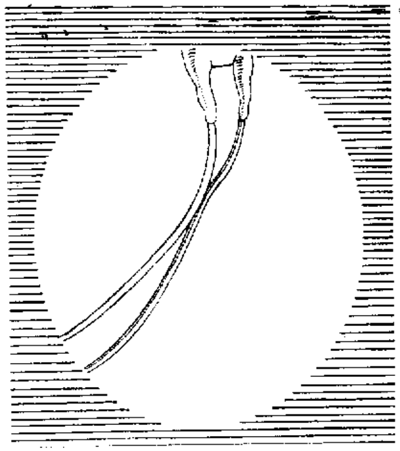
चित्र - 43

पहले से भी अच्छे ढंग से एकत्र हो कर और कागज़ से टकरा कर द्विभुज से मिलता-जुलता संगीतमय स्वर उत्पन्न करता है। यदि मैं पानी की धार की गति में परिवर्तन करूँ तो इसके स्वरूप में भी परिवर्तन होता है। लेकिन यह सदा उससे भिन्न होता है जिस पर द्विभुज के संगीतमय स्वर की कोई क्रिया नहीं है। कभी-कभी फव्वारा, दो-तीन या इससे भी अधिक धाराओं में विभक्त हो जाता है, मानो यह भिन्न मापों की नलियों से आ रही हो जिनकी दिशा कुछ भिन्न है।(चित्र 43) यदि कोई इस पानी की नली से जुड़ी लकड़ी के पास गाना गाये तो संगीत के भिन्न स्वरों का प्रभाव स्पष्ट देखा जा सकता है। मैं भिन्न तारत्व (पिच) की आवाज़ें (जो प्रयोग के उद्देश्य की दृष्टि से अधिक उपयोगी हैं) उत्पन्न कर दिखा सकता हूँ कि प्रत्येक नयी आवाज फव्वारे का रूप बदल देती है। आपको आश्चर्य होगा यह छोटे-छोटे प्रभाव, लाख, धुएँदार लौ और संगीतमय आवाज़ें कैसे यह परिवर्तन ला पाते हैं। लेकिन इसे समझना शायद आपकी अपेक्षा से सरल है। मुझे आशा है अगली भेंट में मैं यह स्पष्ट कर सकूंगा।

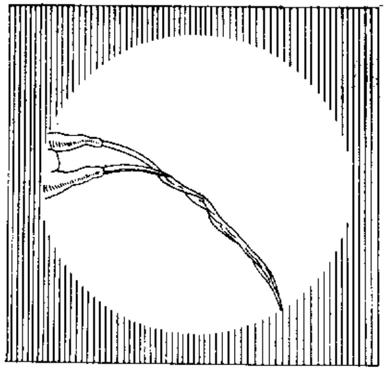
व्याख्यान -III

पिछले व्याख्यान के अंत में मैंने आपको पानी के फव्वारे से कुछ विचित्र प्रयोग दिखाये थे। अब मैं उनकी व्याख्या करूँगा। मैंने द्रव-बेलन के विषय में जो कुछ कहा था उस पर विचार कीजिये। जब इसकी लम्बाई-चौड़ाई की अपेक्षा तीन गुने से कुछ अधिक होती है, यह अपना आकार स्थिर नहीं रख पाता। लम्बाई और चौड़ाई का अनुपात और अधिक बढ़ने पर यह छोटी-छोटी गोलियों (बूँदों) में टूट जाता है। यदि किसी प्रकार इसमें ऐसी 'गर्दनें' विकसित कर दी जायें जिनकी आपसी दूरी तीन व्यासों से कम हो तो ऐसी कुछ 'गर्दनें' स्वतः ठीक हो जायेंगी और द्रव-बेलन पिछली अवस्था में वापस लौट आयेगा। यदि 'गर्दनों' की दूरी लगभग तीन व्यास के बराबर है, तो समय के साथ यह और गहरी होने लगेंगीं और अंततः गोलियाँ निर्मित करेंगी। ठीक साढ़े-चार व्यास की (आपसी) दूरी पर ऐसी गर्दनें निर्मित करने पर यह सर्वाधिक सरलता से टूटने लगती है। दूसरे शब्दों में किसी पूर्णतः स्थिर थूथन से निकलने वाली धार साढ़े चार व्यास की दूरी पर गोलियों में टूटने लगेगी। जेट आंदोलित होने पर यह अधिक संख्या में बहुत पास-पास अथवा कम संख्या में दूर-दूर टूट सकती है, और इससे भी जल प्रधार टूट जायेगी। जब आप जेट को यथासम्भव स्थिर रख कर फव्वारा निर्मित करते हैं, तो भी हर प्रकार के संयोगात्मक झटके द्रव-बेलन से अनियमित दूरियों पर छोटी अथवा बड़ी बूँदें निर्मित करते हैं। 'कमर' के स्थान पर अलग होते समय पानी की प्रत्यास्थता के प्रभाव से यह एक-दूसरे की ओर आकर्षित होती हैं। इससे उनकी गति अवरुद्ध होती है और यह आपस में टकराती हैं। आप शायद यह अपेक्षा करेंगे कि टकराने पर यह आपस में जुड़ जायेंगी।

लेकिन बहुत शीघ्र मैं प्रदर्शित करूँगा कि ऐसा नहीं होता। ये इंडिया-रबर की दो गेंदों की तरह टकरा कर पुनः अलग हो जाती हैं। यह समझ पाना सरल है कि भिन्न मापों की और अनियमित दूरियों पर फैली बूँदों की श्रृंखला में (जिसमें ये बार-बार आपस में टकरा रही हैं) ये विलगित होकर नीचे के कागज के सब भागों पर गिरेंगी। लाख और धुँएदार लौ ने क्या किया? संगीतमय आवाजें इन्हें विलगित होने से रोक कैसे पाती है? आइये, पहले लाख की बात करें। लाख के टुकड़े को कोट पर रगड़ने से इसमें विद्युत उत्पन्न हो जाती है और यह काग़ज़ के छोटे टुकड़ों को आकर्षित करने लगता है। बूँदों पर भी इसकी यही विद्युतीय क्रिया होती है, जिससे वे एक-दूसरे को आकर्षित करती है। यद्यपि यह आकर्षण दुर्बल है फिर भी बीच की हवा की फिल्म को भेद कर उन्हें जोड़ने के लिये पर्याप्त शक्तिशाली है। यह दिखाने के लिये कि यह कोरी कल्पना नहीं है, मैं लालटेन के समक्ष स्वच्छ पानी के दो फव्वारे प्रस्तुत कर रहा हूँ। ये दो भिन्न बोतलों से बाहर आ रहे हैं। आप देख सकते हैं कि बूँदें वास्तव में टकरा कर अलग हो रही हैं (चित्र 44)। यह प्रदर्शित करने के लिये मैंने बोतलों के पानी को अलग रंग दे दिये हैं। लाख इस समय भी मेरी जेब में है। मैं कमरे में दूसरी ओर जा रहा हूँ। प्रधारें बोतलों से बाहर आते ही जुड़ने लगती हैं (चित्र 45)। यह प्रयोग बार-बार दोहराया जा सकता है और यह इस प्रतिभास में विद्युतीय प्रभाव का



चित्र - 44



चित्र - 45

निश्चित प्रमाण है। अब आप पिछला प्रयोग समझ सकते हैं। आपस में टकरा कर विलगित होने वाली और सब दिशाओं में फैलने वाली बूँदें, लाख के विद्युतीय प्रभाव से अलग-अलग नहीं छिटक पातीं, अतः वह जुड़ जाती हैं और काग़ज़ पर बूँदों की बहुत बड़ी संख्या एक जगह धार के रूप में गिरती हैं। यही आप तूफानी वर्षा में भी देखते हैं जब बूँदें एक दूसरे के ऊपर गिरती हैं। तूफानी वर्षा में बड़ी बूँदें गिरने का कारण भी निश्चित रूप से यही है। यह प्रयोग और इसकी व्याख्या हमें लार्ड रैले से प्राप्त हुई है।

श्री बिडवेल ने अभी हाल में प्रदर्शित किया कि धुंएदार लौ की भी यही प्रक्रिया है। शायद यह लौ हवा की फिल्म में गंदगी छोड़ती है जो दोनों फव्वारों को उसी प्रकार जोड़ देती है जैसे विद्युत-शक्ति। लेकिन यह भी संभव है कि इस प्रक्रिया में पानी पर संघनित होने वाले तेलीय पदार्थ की भूमिका हो, क्योंकि तेल स्वयं भी लौ जैसा प्रभाव दिखाता है। इस उदाहरण में और तूफानी समुद्र को शान्त करने में तेल की क्रिया की पूरी जानकारी अभी नहीं है।

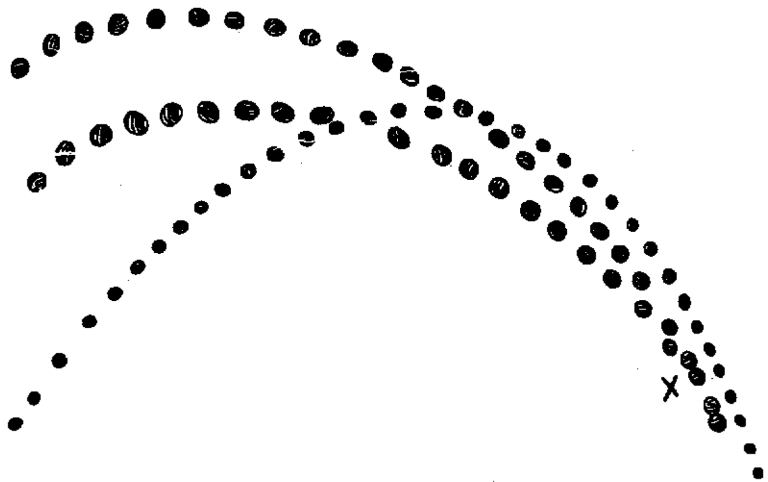
लाख को पास लाने पर बूँदें संलीन हो गयी थीं, लेकिन अधिक विद्युतीकरण से एक-दूसरे को विकर्षित करने लगी थीं। समान प्रकार की विद्युत की इस क्रिया की जानकारी है और इसी ने बूँदों में विद्युतीय छितराव उत्पन्न किया था।

आप शायद समझ गये होंगे कि स्वरित्र-द्विभुज ने बूँदों को पंक्तिबद्ध क्यों कर दिया था लेकिन मैं इसकी व्याख्या करूँगा।

यह भली-भाँति विदित है कि संगीत-स्वर हवा में गतिशील कम्पन से उत्पन्न होते हैं। कम्पन की आवृत्ति (फ्रिक्वेन्सी) जितनी अधिक होती है स्वर का स्वरमान (पिच) भी उतना ही अधिक होता है। उदाहरणस्वरूप इस दंतचक्र को मैं इच्छानुसार तेज अथवा धीमी गति से घुमा सकता हूँ और एक दफ्ती इसके दाँतों के साथ रखकर इसकी टकराहट का स्वर सुन सकता हूँ। धीरे-धीरे घुमाने पर यह स्वर अलग-अलग सुनाई पड़ते हैं। अब मैं इसे तेजी से घुमा रहा हूँ और दफ्ती अधिक स्वरमान उत्पन्न कर रही है। गति बढ़ाने पर स्वरमान बढ़ता जाता है और चक्र को पर्याप्त तेजी से घुमाने पर इतने अधिक स्वरमान की ध्वनि उत्पन्न होगी कि हम इसे सुन ही नहीं सकेंगे। स्वरित्र द्विभुज का प्रत्येक सैकंड में 128 बार कम्पन हो रहा है। अतः यह थूथन को भी इसी स्वरमान से कम्पित करेगा और इससे निकलने वाले पानी के बेलन में प्रत्येक सैकंड में 128 अगोचर 'कमर' निर्मित होंगी। इनका प्रभाव प्रधार की माप और पानी की गति पर निर्भर करेगा। क्या बेलन में निर्मित यह 'कमर' एक दूसरे से साढ़े-चार व्यास से अधिक दूरी पर होंगी? इसके लिये पानी का बड़ी प्रधार में अधिक शीघ्रता और दबाव से आना आवश्यक है, लेकिन बारीक प्रधार में कम गति ही पर्याप्त है। उपरोक्त दूरी की दशा में आरम्भिक परिवर्तन बहुत कम होने पर भी, यह बहुत शीघ्र विकसित हो जायेगी, पानी का कॉलम नियमित ढंग से टूटने लगेगा और समान बूँदें निर्मित होंगी। यह दशा उससे पूर्णतः भिन्न है, जिसमें कॉलम संयोगात्मक झटकों के कारण टूटता है। बूँदें समान होने की दशा में समान मार्ग अपनाती हैं और क्रमागत प्रधार के रूप में गिरती प्रतीत होती हैं। यदि क्रमागत 'कमर' एक दूसरे से साढ़े-चार व्यास की दूरी पर है, तो प्रधार स्वतः सहजता से टूट जायेगी। लेकिन जैसा मैं कह चुका हूँ यह स्वरमानों के एक बड़े क्षेत्र के प्रभाव से भी टूटने लगेंगी। यह प्रधार में विभिन्न दूरियों पर 'कमर' निर्मित कर देंगे, और यदि यह तीन व्यास से अधिक हैं तो प्रधार टूट जायेगी। दो

भिन्न ध्वनियाँ एक साथ प्रस्तुत करने पर प्रायः दोनों अपना-अपना प्रभाव प्रदर्शित करेंगी। परिणामस्वरूप भिन्न मापों की बूँदें बारी-बारी से निर्मित होंगी जिससे प्रधार दो अलग धाराओं में विभक्त हो जायेगी। इसी प्रकार तीन चार या इससे अधिक धाराएँ भी बन सकती हैं।

अब मैं आपको ऐसे संगीत-जनित फव्वारों के कुछ फोटो-चित्र दिखा रहा हूँ। ये विद्युत चिंगारी के तत्कालिक प्रकाश की सहायता से प्राप्त किये गये हैं। ये प्रदर्शित करते हैं कि भिन्न मापों की बूँदें भिन्न मार्ग अपनाती हैं (चित्र 46)। एक फोटो-चित्र में आठ ऐसे फव्वारे हैं जो एक ही प्रधार से टूटकर बने हैं और प्रत्येक में निश्चित आकार की बूँदों की श्रृंखला है। इन चित्रों में आप बूँदों का परस्पर टकराना और इस प्रक्रिया में मिलन-स्थल पर चपटा होना भी देख सकते हैं मानो वे इंडिया-रबर की गेंदें हैं। अब जो चित्र परदे पर है इसमें प्रदर्शित काटकूट (क्रास) के स्थान



चित्र - 46

पर इस प्रतिक्रिया (रिबाउंड) का प्रभाव दिखाया गया है। यह

प्रतिक्रिया आगे वाली बूँद की गति बढ़ा देती है और पीछे वाली की घटा देती है। अतः उनकी मात्रा, गति और दिशायें बदल जाती हैं और इसी कारण वह भिन्न राहें अपनाती हैं। छोटी बूँदों पर भी यही प्रभाव होता है लेकिन फोटो-प्लेट से बाहर होने के कारण वे यहाँ दीख नहीं रही हैं। बहुत छोटी बूँदों का उल्लेख मैंने कई बार किया है। यह संगीत-स्वरों के प्रभाव से प्रायः फव्वारे के किनारों की ओर चली आती हैं। मुख्य धारा से अलग यह अपनी भिन्न नियमित वक्रतायें प्रस्तुत करती है। वास्तव में आगे अथवा पीछे वाली बूँदों से इनकी एक-दो टकराहटें इन्हें किनारे की ओर फेंक देती हैं। आप सहजता से यह प्रदर्शित कर सकते हैं कि वास्तव में इनका निर्माण उस स्थान से नीचे की ओर हुआ था जहाँ यह सर्वप्रथम दृष्टिगोचर होती हैं। यह आप विद्युतित लाख को प्रधार के मुख के पास लाकर और धीरे से कुछ ऊपर उठा कर देख सकते हैं। बड़ी बूँदों की अपेक्षा यह छोटी बूँदों पर अधिक प्रभावी होता है। यह उन्हें अपने स्रोत-स्थान से बाहर खींच लेता है, जहाँ पहले कुछ भी नहीं दिख रहा था। अब यह लाख के चारों ओर परिक्रमा करने लगेंगी, जैसे ग्रह सूर्य के चारों ओर करते हैं। लेकिन हवा के अवरोध के कारण, ये छोटी बूँदें कुछ चक्कर लगाने के बाद लाख पर गिर पड़ेंगी। यदि ग्रहों को अपनी गति में किसी घर्षण का सामना करना पड़ता तो वे भी इसी प्रकार सूर्य पर गिर पड़ते। अब संगीत-जनित फव्वारों का प्रदर्शन पूरा करने के लिये केवल एक बात की कमी है। वह है वास्तविक फव्वारे में बूँदों की स्थितियाँ स्वयं देखना। शक्तिशाली विद्युत चिंगारी के प्रकाश में आप में से कुछ शायद क्षण भर के लिये कुछ बूँदें देख सकें लेकिन अधिकांश कुछ भी नहीं देख पायेंगे। इसके लिये मुझे अनेक विद्युत चिंगारियाँ समयबद्ध ढंग से उत्पन्न करनी पड़ेंगी। चिंगारी हर बार ठीक उस समय जलनी चाहिये जबकि पिछली बूँद अगली का स्थान ले ले और ऐसा निरंतरता से होते रहना चाहिये। इस प्रकार लिये गये फोटो-चित्र में बूँदें हवा में अपने-अपने स्थान

पर स्थिर प्रतीत होंगी, यद्यपि वास्तव में वे तीव्र गति से यात्रा कर रही हैं। यदि मैं समय-अंतराल ठीक नहीं रख सका तो फोटो-चित्र एक विचित्र आभास देगा। उदाहरण-स्वरूप यदि चिंगारी उत्पादन की गति बूँदों की अपेक्षा अधिक शीघ्र है तो बूँदें पीछे की ओर यात्रा करती प्रतीत होंगी। इसके विपरीत यदि यह गति पर्याप्त शीघ्र नहीं है तो ये धीमी गति से आगे बढ़ती हुई दीखेंगी। आइये, अब प्रयोग करके देखें। यह एक लालटेन है जो परदे पर शक्तिशाली किरण-पुंज फेंक रही है। इसे मैं एक लेन्स तथा गोल दफ्ती में छोटे छिद्रों की सहायता से परदे पर केंद्रित (फोकस) कर रहा हूँ। पानी का फव्वारा दफ्ती और परदे के बीच में है, अतः स्पष्ट परछाई देता है। अब मैं इस दफ्ती के पीछे एक छोटी बिजली की मोटर रख रहा हूँ। यह एक दूसरी गोल दफ्ती (चकती) को बहुत तेज़ी से घुमा सकती है। चकती में किनारे की ओर छः छिद्र हैं। इसके घूमने पर छिद्र बारी-बारी से दूसरी आबद्ध चकती के सामने आने लगते हैं और मोटर का प्रत्येक चक्र प्रकाश की छः क्षण-दीप्तियाँ (फ्लैश) उत्पन्न करता है। जब चकती प्रत्येक सैकंड में 43 बार घूमेगी तो क्षण-दीप्तियों की गति सही होगी। मैंने मोटर आरंभ कर दी है और एक दो पलों में सही गति मिल जायेगी। यह जानकारी मैंने स्वरित्र-द्विभुज का स्वर छिद्रों में भेज कर प्राप्त की है, यदि चकती की गति बहुत अधिक है तो उत्पन्न संगीत का तारत्व (पिच) द्विभुज के स्वर के तारत्व से अधिक होगा और गति यदि कम है तो यह कम होगा। गति समान होने पर दोनों स्वरों का तारत्व समान होगा और यही चकती की सही गति होगी।

इस बात को और स्पष्ट करने के लिये मैं स्वरित्र-द्विभुज को प्रकाश और परदे के बीच में रख रहा हूँ ताकि आप इसे चमकता हुआ देख सकें और इसकी परछाई भी देख सकें। मैंने अभी पानी का प्रवाह आरम्भ नहीं किया है। मैं चाहता हूँ कि आप द्विभुज को ध्यान से देखें। कुछ पल के लिये मैंने मोटर रोक दी

है ताकि प्रकाश स्थिर रहे और आप द्विभुज की गति देख सकें। इसके सिरे धुंधले दीख रहे हैं क्योंकि यहाँ इनकी गतिक्षमता सर्वाधिक है। अब मैंने मोटर चला दी है, द्विभुज अब बिलकुल भिन्न लग रहा है। यह अब इंडिया-रबर के उस टुकड़े जैसा दीख रहा है जो बार-बार धीमी गति से खुलता और बंद होता है। अब यह स्थिर प्रतीत होता है, लेकिन इसकी आवाज़ प्रमाणित करती है कि यह स्थिर नहीं है। द्विभुज की भुजाओं में कम्पन हो रहा है, लेकिन उन पर प्रकाश नियमित अंतरालों पर पड़ता है। यह द्विभुज की आवृत्ति (फ्रिक्वेन्सी) के अनुरूप है। अतः जैसा मैंने पानी की बूँदों के संदर्भ में बताया था, द्विभुज बिलकुल स्थिर प्रतीत हो रहा है। अब मैं मोटर की गति परिवर्तित कर रहा हूँ ताकि क्षण-दीप्तियाँ (सही अंतराल की अपेक्षा) कुछ शीघ्र अथवा विलम्ब से आयें। इससे आप द्विभुज के दोलन का विकास-क्रम देख सकते हैं। वास्तव में द्विभुज दोनों दिशाओं में (आगे और पीछे) 128 बार प्रति सैकंड की गति से दोलित हो रहा है। स्वयं द्विभुज को अथवा परदे पर इसकी परछाई देख कर आप बता सकते हैं कि (द्विभुज और बूँदों दोनों के संदर्भ में) क्षण-दीप्तियाँ समय से उत्पन्न हो रही हैं अथवा नहीं।

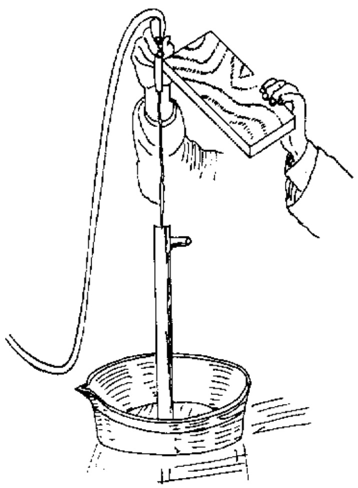
अब पानी प्रवाहित हो रहा है। समस्त विलगित बूँदें किसी अदृश्य तार पर बंधे मोतियों अथवा चांदी की गोलियों की तरह प्रतीत होती हैं (मुख-चित्र देखिये)। चकती को कुछ धीमी गति से चलाने पर सब बूँदें धीरे-धीर आगे बढ़ती हुई दीखती हैं। यह एक अन्य सुन्दर दृष्य भी प्रस्तुत कर रहा हैं, यद्यपि इसे आप में से कुछ ही लोग देख सकेंगे। प्रत्येक बूँद में 'कमर' दीखेगी और इस स्थान पर टूट कर वह एक छोटी बूँद निर्मित करती प्रतीत होगी। मुख्य बूँद इससे स्वतंत्र होकर धीमी गति से दोलित होती हुई बारी-बारी से अधिक लम्बा और चौड़ा आकार ग्रहण करती, अथवा घूमती हुई अपने मार्ग पर आगे बढ़ती दीखेगी। यदि दो अथवा इससे अधिक प्रधारें बन रही हैं तो बूँदें, परस्पर पास आकर

मिलन-स्थल पर चिपटती और टकरा कर दूर उछलती प्रतीत होंगी। अब चकती कुछ अधिक शीघ्रता से घूम रही है और बूँदें पीछे की ओर लौटती दिख रही हैं। ऐसा प्रतीत होता है मानो पानी टंकी से फर्श की ओर आकर चुपचाप मेरे सिर पर से होता हुआ थूथन में गिर कर स्रोत की ओर लौट रहा हो। आप भली-भाँति जानते हैं वास्तव में ऐसा नहीं हो रहा है। यदि मैं दो बूँदों के बीच उंगली डालने का प्रयास करूँ तो पानी की बौछार सब ओर फैलती हुई दीखेगी इससे स्पष्ट है कि यह इतना शान्तिपूर्वक नहीं चल रहा, जैसा प्रतीत होता है। इस प्रयोग के विषय में मैं एक और बात का उल्लेख करूँगा। क्रमिक क्षण-दीप्तियों में जब कोई अतिरिक्त क्षण-दीप्ति सम्मिलित हो जाती है अथवा कोई चूक जाती है तो द्विभुज एक अतिरिक्त दोलन उत्पन्न करता हुआ और बूँदें एक स्थान पर वापस लौटती प्रतीत होती हैं।

मैं अब संगीत-जनित फव्वारे के एक बहुत सुंदर व्यवहारिक उपयोग पर आ रहा हूँ। जो प्रयोग मैं दिखा रहा हूँ इसकी संकल्पना टेलीफोन के आविष्कारक श्री ग्रहम बेल के संबंधी श्री चीसेस्टर बेल ने की थी।

आरम्भ में मैं पानी की एक बहुत छोटी प्रधार दिखा रहा हूँ जिसे बहुत अधिक दबाव से शक्ति-पूर्वक एक थूथन से फेंका जा रहा है। इसकी दिशा छत की ओर करने पर पानी आठ से दस फुट तक ऊपर उठता है। यदि धारा शक्तिशाली है और मैं इसे उंगली की मोटाई की नली के सिरे पर तनी इंडिया-रबर की चादर पर गिरने देता हूँ तो यह इसमें एक गति उत्पन्न करेगी। धार को चादर के पास रखने पर यह निरंतर इस पर दबाव डालेगी जिसका प्रभाव विशेष पता नहीं चलेगा। धार को धीरे-धीरे दूर ले जाने पर, इसमें निर्मित होने वाली 'कमर' (जो यात्रा के दौरान और अधिक विकसित होती रहेंगी) तत्काल अपना अस्तित्व प्रदर्शित करेंगी। जब धार (कॉलम) का बड़ा भाग चादर से टकरायेगा, गर्त की गहराई सामान्य से अधिक होगी और इसके बाद के पतले भाग

के टकराने पर यह कम होगी। दूसरे शब्दों में धार का बहुत थोड़ा दोलन इसमें 'कमर' निर्मित होने के कारण आवर्धित हो जायेगा और इंडिया रबर की चादर एक आवर्धित रूप में इसे पुनरुत्पादित करेंगी। अब यदि आपको स्मरण है कि आवाज कम्पन से उत्पन्न होती है तो आप समझ जायेंगे कि प्रधार इसे आवर्धित करने की मशीन के रूप में कार्य कर सकती है। यह प्रदर्शित करने के लिये मैं प्रधार चादर पर डाल रहा हूँ। अभी आप कोई आवाज़ नहीं सुन रहे हैं। लेकिन मैं जब थूथन को छूता हुआ लकड़ी का एक टुकड़ा अपने हाथ में ले लेता हूँ, तो प्रधार का किसी निश्चित गति से टूटना या लकड़ी अथवा इंडिया-रबर की कोई स्वाभाविक कम्पन-गति लकड़ी को अनुरूप कम्पन प्रदान करती है। लकड़ी यह कम्पन थूथन को देती है परिणाम-स्वरूप प्रधार स्वयं तत्काल ऊँची आवाज़ उत्पन्न कर, गाने लगती है (चित्र 47)।

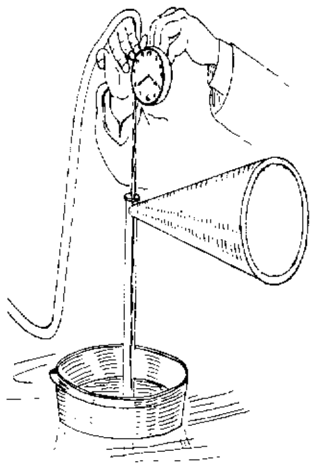


चित्र - 47

मैं अब लकड़ी हटा कर थूथन के साथ एक साधारण लीवर घड़ी पकड़े हूँ। इसका प्रत्येक 'टिक' जो झटका इसके ढक्कन को देता है वह इतना हल्का होता है कि सामान्यत: इसका कुछ आभास नहीं होता। यह झटका अब थूथन में भी उत्पन्न होने लगता है और प्रधार में 'गर्दनें' बनने लगती हैं। पानी की यात्रा के दौरान ये और अधिक विकसित हो जाती हैं। फलस्वरूप 'टिक-टिक' की ऊँची आवाज़ें उत्पन्न होती हैं जो पूरे कमरे में सुनाई पड़ती हैं (चित्र 48)। मैं चाहता हूँ कि आप इस बात पर ध्यान दें कि यह क्रिया कम्पन को कैसे बढ़ाती है। मैं अब थूथन को रबर की चादर के पास रख रहा हूँ लेकिन आपको

कुछ सुनाई नहीं दे रहा। जब मैं इसे धीरे- धीरे ऊपर उठाता हूँ एक धीमी गूंज़ उत्पन्न होती है। धीरे- धीरे यह बढ़ने लगती है और अंतत: यह घड़ी की 'टिक-टिक' की जगह संदान पर हथौड़े की चोट की आवाज़ जैसी हो जाती है।

मैं अब पहली घड़ी को इस दूसरी घड़ी से बदल रहा हूँ जो मुझे एक मित्र से मिली है। यह एक आवर्तक (रिपीटर) घड़ी है। इसमें घुंडी दबा कर घंटों, चौथाई घंटों या मिनटों का स्वर क्रमश: सुना जा सकता है। पानी की प्रधार की सहायता से आप सब सुन सकेंगे कि समय क्या है। सुनिये : एक, दो, तीन, चार टिंग टैंग, टिंग टैंग –एक दो तीन चार पांच छ:, साढ़े चार बज कर छ: मिनट। आपने देखा कि न केवल आप प्रहारों की ठीक संख्या सुन सके बल्कि प्रधार ने संगीत स्वरों को भी सही रूप में पुनरुत्पन्न किया और आप इन्हें पहचान सके।



चित्र - 48

इसी प्रकार किसी बड़ी छड़ी का एक सिरा संगीत-बक्स[45] पर रख कर और दूसरा थूथन से जोड़ कर कोई धुन सुनी जा सकती है। संगीत बक्स मोटे फेल्ट के दोहरे बक्स में बंद है और सामान्यत: इसका स्वर बाहर नहीं सुनाई पड़ता, लेकिन जैसे ही इसे छड़ी द्वारा थूथन से जोड़ कर प्रधार को इंडिया-रबर की चादर की ओर मोड़ दिया जाता है, बक्स का संगीत ऊँची आवाज़ में पूरे कमरे में सुना जा सकता है। इस प्रक्रिया की एक विशिष्टता बहुत स्पष्ट है। प्रधार कुछ विशिष्ट कम्पन-गतियों पर अधिक सहजता

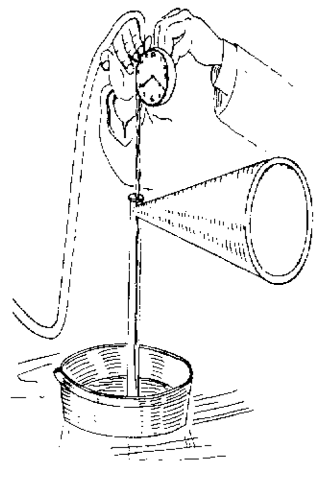
के टकराने पर यह कम होगी। दूसरे शब्दों में धार का बहुत थोड़ा दोलन इसमें 'कमर' निर्मित होने के कारण आवर्धित हो जायेगा और इंडिया रबर की चादर एक आवर्धित रूप में इसे पुनरुत्पादित करेंगी। अब यदि आपको स्मरण है कि आवाज कम्पन से उत्पन्न होती है तो आप समझ जायेंगे कि प्रधार इसे आवर्धित करने की मशीन के रूप में कार्य कर सकती है। यह प्रदर्शित करने के लिये मैं प्रधार चादर पर डाल रहा हूँ। अभी आप कोई आवाज़ नहीं सुन रहे हैं। लेकिन मैं जब थूथन को छूता हुआ लकड़ी का एक टुकड़ा अपने हाथ में ले लेता हूँ, तो प्रधार का किसी निश्चित गति से टूटना या लकड़ी अथवा इंडिया-रबर की कोई स्वाभाविक कम्पन-गति लकड़ी को अनुरूप कम्पन प्रदान करती है। लकड़ी यह कम्पन थूथन को देती है परिणाम-स्वरूप प्रधार स्वयं तत्काल ऊँची आवाज़ उत्पन्न कर, गाने लगती है (चित्र 47)।

चित्र - 47

मैं अब लकड़ी हटा कर थूथन के साथ एक साधारण लीवर घड़ी पकड़े हूँ। इसका प्रत्येक 'टिक' जो झटका इसके ढक्कन को देता है वह इतना हल्का होता है कि सामान्यत: इसका कुछ आभास नहीं होता। यह झटका अब थूथन में भी उत्पन्न होने लगता है और प्रधार में 'गर्दनें' बनने लगती हैं। पानी की यात्रा के दौरान ये और अधिक विकसित हो जाती हैं। फलस्वरूप 'टिक-टिक' की ऊँची आवाज़ें उत्पन्न होती हैं जो पूरे कमरे में सुनाई पड़ती हैं (चित्र 48)। मैं चाहता हूँ कि आप इस बात पर ध्यान दें कि यह क्रिया कम्पन को कैसे बढ़ाती है। मैं अब थूथन को रबर की चादर के पास रख रहा हूँ लेकिन आपको

कुछ सुनाई नहीं दे रहा। जब मैं इसे धीरे- धीरे ऊपर उठाता हूँ एक धीमी गूंज़ उत्पन्न होती है। धीरे- धीरे यह बढ़ने लगती है और अंतत: यह घड़ी की 'टिक-टिक' की जगह संदान पर हथौड़े की चोट की आवाज़ जैसी हो जाती है।

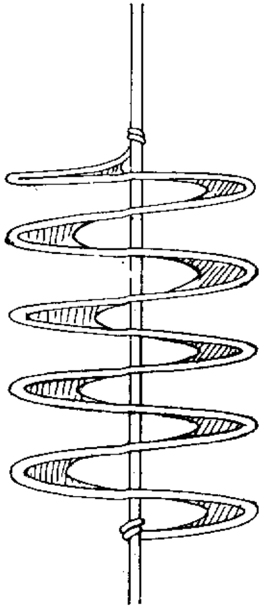
मैं अब पहली घड़ी को इस दूसरी घड़ी से बदल रहा हूँ जो मुझे एक मित्र से मिली है। यह एक आवर्तक (रिपीटर) घड़ी है। इसमें घुंडी दबा कर घंटों, चौथाई घंटों या मिनटों का स्वर क्रमश: सुना जा सकता है। पानी की प्रधार की सहायता से आप सब सुन सकेंगे कि समय क्या है। सुनिये : एक, दो, तीन, चार टिंग टैंग, टिंग टैंग --एक दो तीन चार पांच छ:, साढ़े चार बज कर छ: मिनट। आपने देखा कि न केवल आप प्रहारों की ठीक संख्या सुन सके बल्कि प्रधार ने संगीत स्वरों को भी सही रूप में पुनरुत्पन्न किया और आप इन्हें पहचान सके।



चित्र - 48

इसी प्रकार किसी बड़ी छड़ी का एक सिरा संगीत-बक्स[45] पर रख कर और दूसरा थूथन से जोड़ कर कोई धुन सुनी जा सकती है। संगीत बक्स मोटे फेल्ट के दोहरे बक्स में बंद है और सामान्यत: इसका स्वर बाहर नहीं सुनाई पड़ता, लेकिन जैसे ही इसे छड़ी द्वारा थूथन से जोड़ कर प्रधार को इंडिया-रबर की चादर की ओर मोड़ दिया जाता है, बक्स का संगीत ऊँची आवाज़ में पूरे कमरे में सुना जा सकता है। इस प्रक्रिया की एक विशिष्टता बहुत स्पष्ट है। प्रधार कुछ विशिष्ट कम्पन-गतियों पर अधिक सहजता

से टूटती है। दूसरे शब्दों में कुछ विशेष स्वर इसे अधिक प्रभावित करते हैं। संगीत-बक्स के कुछ विशिष्ट स्वर विचित्र ढंग से अधिक बलशाली सुनाई पड़ते हैं। यह प्रभाव, पियानो के ऊपरी तारों पर पेनी रखने से उत्पन्न प्रभाव के समान है।

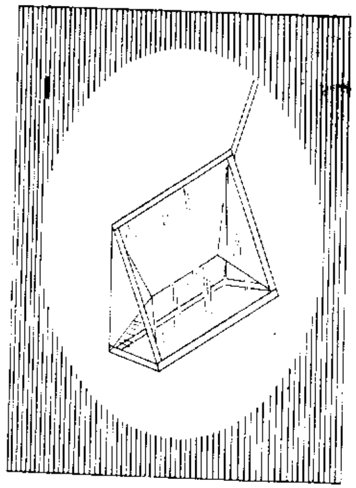


चित्र - 49

अब हम साबुन के बुलबुलों पर वापस आ रहे हैं। आपको स्मरण होगा मैंने बताया था कि कैटिनारूपी तथा समतल ही दो संभव वक्रतारहित परिक्रमा मार्ग हैं, अत: यह दबाव उत्पन्न नहीं करते। ऐसे अनेक पृष्ठ हैं जो अनेक दिशाओं में वक्र प्रतीत होते हैं, लेकिन उनमें वक्रता नहीं है और इसलिये वे दबाव उत्पन्न नहीं करते, किन्तु ये परिक्रमा मार्ग नहीं है, अर्थात् किसी वक्र रेखा को किसी धुरी के चारों ओर घुमाने पर निर्मित नहीं होते। ये आप तार की भिन्न आकार की संरचनायें बनाकर और उन्हें साबुन के घोल में डुबा कर बाहर निकालने पर देख सकते हैं। ऐसे एक पृष्ठ का उदाहरण है, पेंच-पृष्ठ (स्क्रू-पृष्ठ)। इसे निर्मित करने के लिये किसी तार को हेलिक्स के (साधारण भाषा में सर्पिल) आकार में मोड़ कर तार के किनारों को हेलिक्स के बीच से गुज़ारना पड़ेगा। इस संरचना को साबुन के पानी में डुबा कर पेंच-पृष्ठ निर्मित किया जा सकता है जिसे आपको दिखाना उपयोगी होगा (चित्र 49)। इस आकार की पूर्णता की संकल्पना साधारणत: असंभव है, किन्तु यह प्रयोग सरलता से किया जा सकता है।

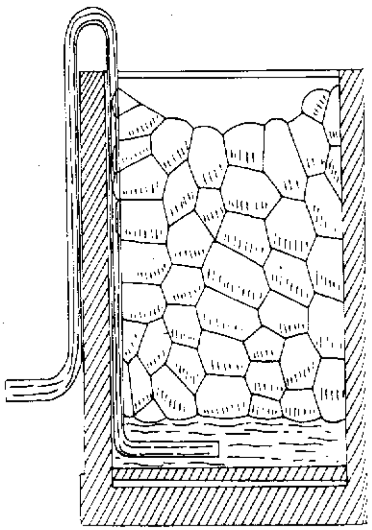
तार द्वारा निर्मित नियमित ठोस ज्यामितीय आकारों

को साबुन के पानी में डुबा कर बहुत सुंदर आकृतियाँ बनायी जा सकती हैं। त्रिकोणीय प्रिज़्म के उदाहरण में तीनों पृष्ठ चपटे होते हैं, जो मिलन-स्थल पर समान कोण बनाते हैं (चित्र 50)। तीन कगारों वाली संरचना से ऐसी आकृति निर्मित होने में कुछ भी आश्चर्यजनक नहीं है। इस त्रिभुजीय आकृति के आधार पर, शायद आप अपेक्षा करें कि चतुर्भुजी अथवा वर्गाकार ठोस की आकृति में भी चार फिल्में इसी प्रकार मिल सकेंगी। लेकिन यह बात विचित्र है कि तार की संरचना चाहे कितनी ही अनियमित हो और साबुन के झाग की राशि का आकार कितना ही जटिल हो, तीन से अधिक फिल्मों के किनारे आपस में नहीं मिल पाते। इसी प्रकार चार से अधिक किनारे और छ: से अधिक फिल्में एक बिन्दु पर नहीं मिल पाते। इसके अतिरिक्त फिल्मों के किनारे केवल समान कोणों पर ही मिल सकते हैं। यदि संयोगवश चार फिल्मों के किनारे आपस में मिल भी जायें, या निर्मित कोण समान न हों, तो वह इस स्थिति में टिक नहीं पाते और आकृति बहुत शीघ्र स्थायित्व की दशा ग्रहण कर लेती है। यह एक सरल प्रयोग द्वारा दिखाया जा सकता है। इसे आप घर पर कर सकते हैं और मैं अभी परदे पर दिखा रहा हूँ। इसमें खिड़की के काँच के दो टुकड़े एक-दूसरे से लगभग आधा इंच दूर इस प्रकार रखे गये हैं कि एक बक्स-जैसा बन रहा है। इसमें कुछ साबुन और पानी भरा है और एक नली पड़ी है। इससे फूँकने पर प्लेटों के बीच बुलबुलें बनते हैं। यदि ये बुलबुले समुचित बड़े हैं और एक प्लेट से दूसरी तक पहुँच सकते हैं तो आप तुरन्त



चित्र - 50

देख सकते हैं कि इनमें से किसी में भी तीन से अधिक फिल्में नहीं हैं और इनके मिलन-स्थल के कोण समान हैं। बुलबुलों की वक्रता आरम्भ में कोणों की समानता देखने में कठिनाई उत्पन्न करती है। लेकिन यदि आप इस वक्रता की ओर ध्यान न दें और इनके उस भाग पर ही ध्यान केंद्रित करें, जहाँ फिल्में मिल रही हैं तो आप यह भी देखेंगे कि कभी-कभी इनमें चार पृष्ठ भी मिलते दीखते हैं, लेकिन बहुत शीघ्र यह एक दूसरे पर फिसल कर अपनी स्वाभाविक स्थायी स्थिति में आ जाते हैं।(चित्र 51)

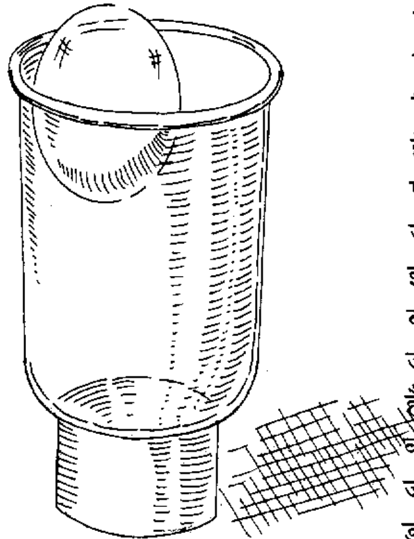


चित्र - 51

बुलबुलों के अंदर की हवा प्राय: दबाव में होती है। यह दबाव इनकी वक्रता के कारण उत्पन्न होता है। यदि बुलबुले में हवा के एक ओर से दूसरी ओर जाने का मार्ग खुला है तो यह शीघ्र ही बंद हो जायेगा (जिस प्रकार यह तब बंद हो गया था जब इस पर छल्ला लटका कर अंदर की फिल्म तोड़ दी गयी थी)। क्योंकि बुलबुले में छेद नहीं होते, आप शायद अपेक्षा करें कि इसके अंदर की हवा बाहर नहीं निकल पायेगी। लेकिन वास्तव में अंदर की गैसें धीरे-धीरे बाहर निकल आती हैं और कुछ उदाहरणों में इसकी गति हमारी कल्पना से बहुत अधिक होती है।

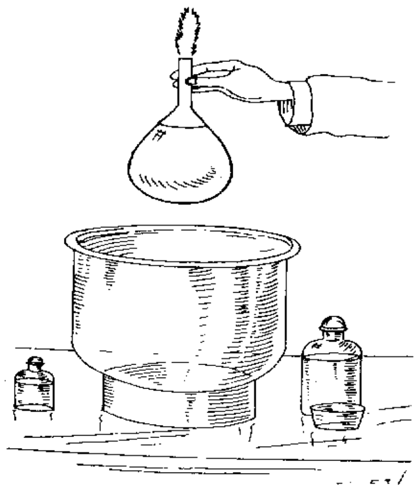
ईथर बहुत भारी और ज्वलनशील वाष्प उत्पन्न करता है। यह लगभग तुरन्त बुलबुले के बाहर आने लगती है। मैं इस सोख्ते कागज पर कुछ ईथर डाल रहा हूँ और इसे एक बेलजार में रख

रहा हूँ। परदे पर जार की परछाई में आप देख सकते हैं कि यह किसी पदार्थ से भरा है (यद्यपि स्वयं जार को देखने पर यह खाली दीखता है)। जार को धीरे से एक ओर झुकाने पर आप इससे कुछ बाहर निकलता देख रहे हैं, जो वास्तव में ईथर की वाष्प है। इसका भारीपन प्रदर्शित करना सरल है। इसके लिये जार में केवल एक बुलबुला डालना आवश्यक है। ईथर की वाष्प से सामना होने पर इसका नीचे गिरना रुक जाता है और यह कार्क की तरह पृष्ठ पर तैरने लगता है (चित्र 52)।



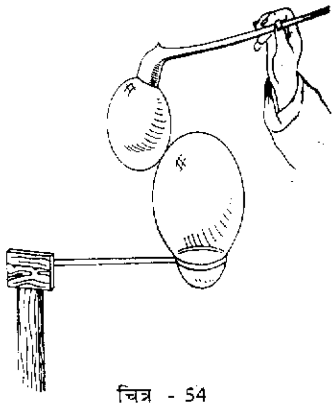
चित्र - 52

आइये, अब इस बुलबुले का परीक्षण कर पता लगायें, क्या इसमें ईथर की वाष्प प्रविष्ट हुई है। मैं इसे तार के एक छल्ले की सहायता से बाहर निकाल लेता हूँ और जलती हुई माचिस की तीली के पास ला रहा हूँ। यह तत्काल लौ के रूप में जल उठता है। लेकिन यह बुलबुले में ईथर-वाष्प के प्रवेश का समुचित प्रमाण नहीं है। संभव है ईथर की पर्याप्त मात्रा बुलबुले के पृष्ठ पर संघनित हो गयी हो,



चित्र - 53

जिससे यह ज्वलनशील हो गया। आपको याद होगा कि पहले व्याख्यान में जब मैंने ईथर की वाष्प पानी पर डाली थी तो इसने संघनित होकर पानी की त्वचा को दुर्बल कर दिया था और तार की संरचना दूसरी ओर आ गयी थी। इस व्याख्या की सत्यता का परीक्षण मैं एक बड़ी नली के मुख पर बुलबुला बना कर और कुछ समय इसे वाष्प में रोक कर, कर सकता हूँ। बाहर निकालने पर आप देखेंगे कि यह एक बड़ी बूँद की तरह लटक रहा है और इसका आकार अब गोल नहीं है। ऐसा प्रतीत होता है कि वाष्प इसके अंदर पहुँच गयी है। इसे पूर्णतः निश्चित करने के लिये मैं माचिस नली के मुख के पास ला रहा हूँ। इससे बुलबुले की प्रत्यास्थता के कारण बाहर आती हुई ईथर की वाष्प आग पकड़ कर लगभग 5-6 इंच लम्बी लौ के रूप में जलने लगती है (चित्र 53)।



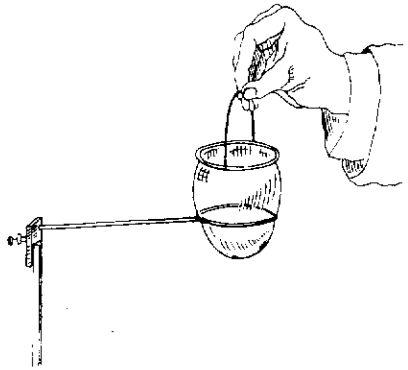
चित्र - 54

आपने इस बात पर भी ध्यान दिया होगा कि बुलबुले को बाहर लाने पर इससे वाष्प बाहर आने लगी थी, यद्यपि यह आप केवल इसकी परछाई में ही देख सके थे।

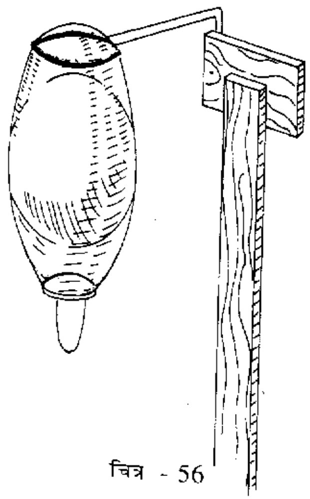
जब मैंन एल्कोहॉल और पानी के मिश्रण में तेल की बूँदें बनायी थीं तब आपने इस बात पर ध्यान दिया होगा कि पास लाने पर यह तत्काल संयुक्त नहीं हुई थीं। क्षण भर के लिये एक दूसरे को दबा कर ये दूर हट गयी थीं। यही पानी के फव्वारे की बूँदों ने भी किया था, जिनका फोटो-चित्र मैंने आपको दिखाया था। आपने इस बात पर भी ध्यान दिया होगा कि पैराफीन मिश्रण में पानी की बूँदें आपस में टकरायी थीं या पैराफीन से भर देने पर

इन्होंने बुलबुले निर्मित किये थे, जिनमें पानी और पैराफीन दोनों की बूँदें तैरती दीखी थीं।

इन सब उदाहरणों में बूँदों के बीच किसी पदार्थ की पतली फिल्म विद्यमान थी, जिसे हटाने में वे असमर्थ थी। भिन्न उदाहरणों में यह फिल्म पानी, पैराफीन अथवा हवा की थीं। क्या साबुन के दो बुलबुले भी आपस में टकराने पर बीच की हवा हटा पाने में असमर्थ रहेंगे? आप यह घर पर प्रयोग कर देख सकते हैं। मैं यहाँ भी यह प्रयोग दिखा रहा हूँ। मैंने दो बुलबुले बना लिये हैं। मैं उन पर एक साथ प्रहार कर उन्हें परस्पर मिलने का अवसर देता हूँ, लेकिन वह स्पष्ट और अलग बने रहते हैं। (चित्र 54)



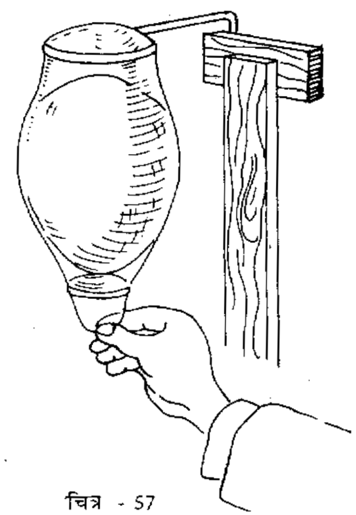
चित्र - 55



चित्र - 56

अब मैं एक छल्ले पर एक बुलबुला रख रहा हूँ जो इतना बड़ा है कि छल्ले को पार नहीं कर सकता। मेरे हाथ में एक दूसरा छल्ला है जिस पर एक बुलबुला रख कर और इसे एक

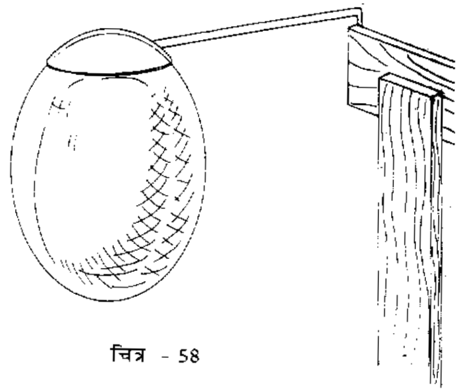
ओर फोड़कर मैंने एक चपटी फिल्म बना ली है। अगर इस फिल्म से मैं बुलबुले को धीरे से दबाऊँ तो उसे छल्ले के दूसरी ओर पहुँचा सकता हूँ (चित्र 55)। लेकिन वास्तव में इस प्रक्रिया में दोनों ने एक दूसरे को छुआ तक नहीं है। बुलबुला इस प्रकार कई बार आगे-पीछ ध केला जा सकता है।



चित्र - 57

अब मैंने एक बुलबुला फूंक मारकर एक छल्ले पर लटका दिया है। इस पर मैं पतले तार का एक दूसरा छल्ला टांग सकता हूँ। इसके अंदर दबाव पूर्ण गोलक की तुलना में कम है, किन्तु बाहर के दबाव से अधिक है। यह हम इसकी टोपियाँ देख कर कह सकते है, जिनकी वक्रता चित्र 31 में बिन्दु-चिन्हित रेखाओं C और E के अनुरूप हैं। लेकिन वक्रता की अधिक चर्चा किए बिना मैं एक नली का सिरा इसके अंदर डाल रहा हूँ। इसकी सहायता से मैं एक दूसरा बुलबुला फूंक कर इसके अंदर छोड़ रहा हूँ। यह ध ीरे से गिर कर बाहरी बुलबुले के ऊपर टिक जाता है। क्योंकि भारी छल्ले ने बाहरी बुलबुले की आकृति परिवर्तित कर दी है, यह इसकी तली तक नहीं पहुंच पाता और इससे ऊपर ही एक गोल रेखा पर रुक जाता है।(चित्र 56) अब मैं एक नली द्वारा बुलबुलों के नीचे लटकी भारी बूँदें हटा सकता हूँ और इन्हें स्वच्छ और चिकना कर सकता हूँ। मैं छल्ले को नीचे खींच कर बुलबुले को अंडाकार रूप दे सकता हूँ,(चित्र 57) अथवा इसे चारों ओर नचा सकता हूँ और फिर धीरे से सावधानी-पूर्वक छल्ला हटा कर दोनों को पूर्णत: गोल रूप दे सकता हूँ (चित्र 58)। बाहरी बुलबुले

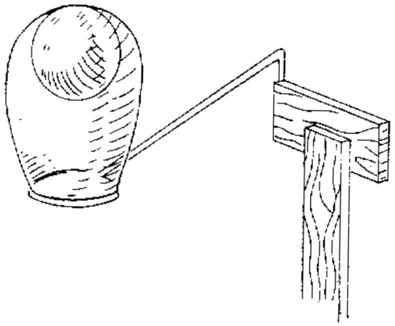
से हवा खींच कर मैं दोनों को इस प्रकार मिला सकता हूँ कि इनके बीच का अंतर अदृष्य हो जायेगा। मैं पुनः इसमें हवा फूंक सकता हूँ। मैं जितनी शक्ति से ऐसा करूँगा उतनी ही अधि क इन बुलबुलों की प्रथकता स्पष्ट हो जायेगी। वास्तव में, यह दोनो एक दूसरे को छू नहीं रहे हैं। आंतरिक बुलबुला अब



चित्र - 58

बड़े बुलबुले के मध्य में चारों ओर नाच रहा है। अंततः, बाहरी बुलबुले को फोड़ देने पर यह बिना क्षतिग्रस्त हुए तैर कर बाहर आ जाता है।

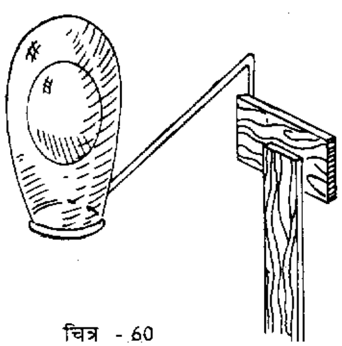
पिछले प्रयोग का एक बहुत सुंदर परिवर्तित रूप संभव है। इसके लिये एक अलग तश्तरी में हरा फ्लोरोसीन अथवा इससे अधिक अच्छा यूरानीन नामक रंग साबुन के पानी में घोल लीजिये। अब आप बाहर का बुलबुला स्वच्छ साबुन के पानी



चित्र - 59

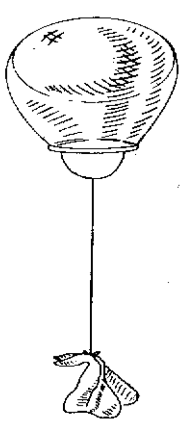
से और अंदर का रंगीन पानी से बना सकते हैं। साधारण प्रकाश में आप इनमें कोई अंतर नहीं देख पायेंगे, लेकिन सूर्य के प्रकाश

में अथवा आर्क-लैंप के विद्युतीय प्रकाश में आन्तरिक बुलबुला चमकदार हरा दीखेगा, जबकि बाहर वाला पहले की तरह स्वच्छ बना रहेगा। ये बुलबुले परस्पर मिश्रित बिलकुल नहीं होते। इससे प्रमाणित होता है कि यद्यपि आंतरिक बुलबुला बाहर वाले के ऊपर टिका है इनके बीच में हवा की एक गद्‌दी विद्यमान है।



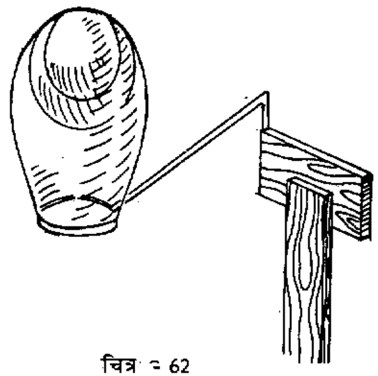
चित्र - 60

आप जानते हैं कि कोयले की गैस[46] हवा से हल्की होती है। इस गैस से बुलबुला फूंक कर छोड़ देने पर यह तुरन्त तैर कर छत पर पहुंच जाता है। मैं एक छल्ले पर कोयले की गैस का बुलबुला फूंक रहा हूँ। बहुत शीघ्र पता चल जाता है कि यह ऊपर की ओर खिंच रहा है। मैं इसमें निरंतर और गैस डाल रहा हूँ। मैं चाहता हूँ कि आप इसके सुंदर आकारों की ओर ध्यान दें (चित्र 59, ऊपर के गोलक की ओर ध्यान न दें)। यह वही वक्रतायें प्रस्तुत करता है जो नली से लटकती पानी की बूँद ने प्रस्तुत की थीं, यद्यपि इनकी दिशा उलटी है। अब यह और अधिक खिंचाव सहन करने में असमर्थ हैं और पानी की बूँद की तरह टूट (फट) जाता है। अब मैं हवा से निर्मित एक बुलबुला एक छल्ले पर रख रहा हूँ और इसके अंदर गैस और हवा के



चित्र - 61

मिश्रण से एक और बुलबुला फूंक रहा हूँ। यह ऊपर तैर कर बाहरी बुलबुले की छत पर टिक जाता है (चित्र 59)। मैं अब कुछ गैस बाहरी बुलबुले में डाल रहा हूँ। इस प्रकार बाहरी और आंतरिक बुलबुलों की गैसों का घनत्व लगभग समान हो जाता है। आंतरिक बुलबुला अब छत पर नहीं टिका है, बल्कि बड़े बुलबुले के मध्य में तैर रहा है (चित्र 60)। ठीक वैसे ही जैसे तेल की बूँद एल्कोहॉल और पानी के मिश्रण में तैरने लगी थी। आप देख सकते हैं आंतरिक बुलबुला हवा से हल्का है क्योंकि बाहर वाले को तोड़ देने पर यह शीघ्रता से छत तक पहुँच जायेगा।

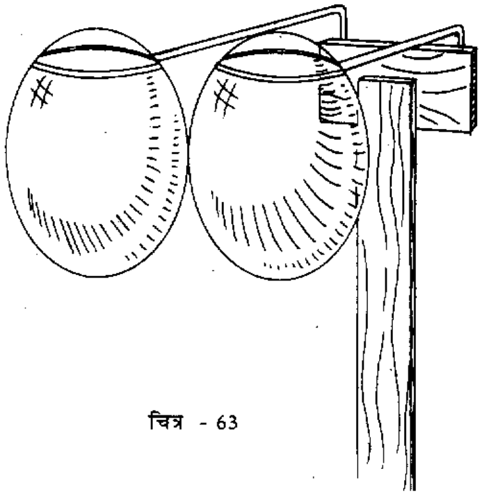


चित्र - 62

मैं अब पहला बुलबुला भारी छल्ले की जगह एक बहुत पतले तार के हल्के छल्ले पर फूंक रहा हूँ। इसके अंदर कोयले की गैस का बुलबुला फूंकने पर यह बाहरी बुलबुले की छत पर पहुँच कर इतना अधिक खिंचाव उत्पन्न करता है कि उपरोक्त छल्ला (लगभग एक गज) धागा और कागज़ साथ लिये ऊपर उठने लगता है, (चित्र 61) यद्यपि उठने की प्रवृत्ति केवल आंतरिक बुलबुले में है। ये दोनों बुलबुले एक दूसरे को छू नहीं रहे हैं।

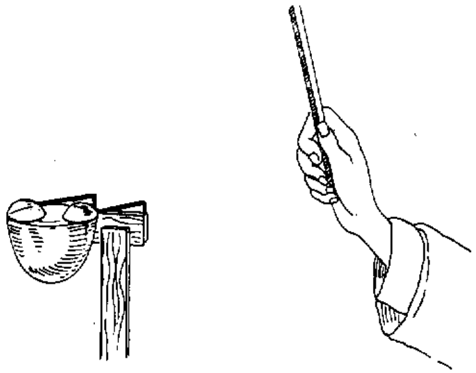
मैंने अब एक आबद्ध छल्ले पर हवा का बुलबुला फूंक लिया है। इसके अंदर मैं एक तार डाल रहा हूँ, जिसके सिरे पर भी छल्ला बना है। आंतरिक छल्ले पर मैं एक दूसरा बुलबुला फूंक रहा हूँ। तीसरा बुलबुला मैं गैस से बना रहा हूँ और यह इन दोनों बुलबुले की छत पर टिक जाता है। दूसरे बुलबुले में कुछ गैस डाल कर मैं इसकी हवा का घनत्व घटा रहा हूँ और बाहर वाले में और अधिक हवा डालकर इसका आकार बढ़ा रहा हूँ (चित्र

62)। आंतरिक छल्ला अलग कर मैं दोनों आंतरिक बुलबुलों को स्वतंत्र कर रहा हूँ। इन बुलबुलों के रंग-बिरंगे प्रतिबिम्ब और आकारों की प्रतिसाम्यता एक अनोखी भव्यता और सुडौलता का दृष्य प्रस्तुत कर रहे हैं। मैं इनके अंदर एक छल्ले की सहायता से (और बाद में इसे हटाकार) एक चौथा बुलबुला भी फूंक सकता हूँ।



चित्र - 63

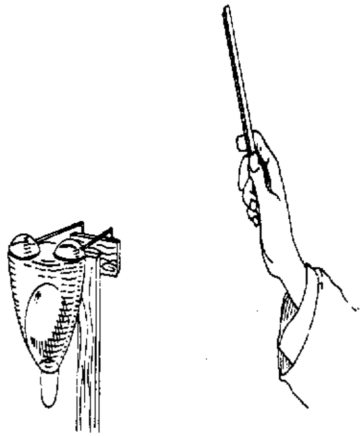
हम देख रहे हैं कि बुलबुलों और बूँदों के गुणों में अनेक समानतायें हैं। आइये देखें कि क्या विद्युत बुलबुलों पर भी वह प्रभाव प्रदर्शित करती है जो इसने बूँदों पर किया था। आपको याद होगा कि लाख के विद्युतीय प्रभाव से फव्वारे का फैलना रुक गया था, क्योंकि बूँदे टकरा कर अलग होने की जगह संयुक्त हो गयी थीं। देखिये, इन दो छल्लो पर दो ऐसे बुलबुले हैं जो एक दूसरे के पास हैं लेकिन परस्पर छू नहीं रहे हैं। (चित्र 63) जैसे ही मैं लाख बाहर निकलता हूँ ये जुड़कर एक



चित्र - 64

हो जाते हैं (चित्र 64)। अतः फव्वारों की भांति बुलबुलों से भी हम बहुत छोटी विद्युतीय मात्रायें पहचान सकते हैं।

बुलबुलों के जोड़े का उपयोग हम विद्युत के एक विदित गुण के प्रदर्शन के लिये कर सकते हैं। किसी विद्युत चालक[47] के बाहर इसका प्रभाव पता नहीं चलता (यह चाहे कितना ही अधिक हो और आप इससे कितना ही निकट हों)। मैं चित्र 56 में प्रदर्शित दो बुलबुले ले रहा हूँ और इनके पास विद्युत-स्रोत के रूप में लाख की डंडी ला रहा हूं। बाहरी बुलबुला विद्युत-चालक है, अतः इसमें विद्युत की कोई क्रिया नहीं होती। आप देख रहे हैं कि लाख इसके बहुत निकट है और इसे एक ओर खींच रहा है। आप यह भी देख रहे हैं कि बुलबुले परस्पर बहुत निकट हैं और उनके बीच कुछ भी दृष्य नहीं है लेकिन फिर भी दोनों अलग बने रहते हैं। यदि विद्युत प्रभाव इंच के लाखवें भाग तक भी अंदर पहुँचता तो ये बुलबुले तत्काल जुड़ जाते।



चित्र - 65

मैं एक और प्रयोग दिखा रहा हूँ और यह अंतिम होगा। वास्तव में यह पिछले दो प्रयोगों का सम्मिलन है। यह बाहरी और आंतरिक बुलबुलों का अंतर बहुत सुंदर ढंग से प्रदर्शित करता है। अब एक सामान्य बुलबुला, बुलबुलों के जोड़े के किनारे पर टिका है। जैसे ही मैं लाख की डंडी बाहर निकालता हूँ, दोनों बाहरी बुलबुले जुड़ जाते हैं। आंतरिक बुलबुले को कोई क्षति नहीं पहुंचती, और भारी छल्ला संयुक्त बुलबुले की तली की ओर खिसक आता है। (चित्र 65)

हमारा समय अब समाप्त हो रहा है। मैं आपसे पूछना चाहता हूँ : क्या इन व्याख्यानों से प्रंशसा की वह भावना, जो बुलबुलों से खेलने पर जागृत होती है, कम हुई है अथवा विषय की जानकारी में वृद्धि के साथ और बढ़ी है? जिन क्रियाओं पर प्रतिदिन घटने वाले साधारण प्रतिभास निर्भर है, और जिन्होंने न्यूटन[48] के समय से आज तक बड़े-बड़े दार्शनिकों का ध्यान आकर्षित किया है, इतनी महत्वहीन नहीं है कि हम जैसे साधारण लोगों के अध्ययन के अयोग्य हों। मुझे आशा है कि आप मेरे इस कथन से सहमत होंगे।

व्यवहारिक निर्देश

मुझे आशा है कि निम्न व्यवहारिक निर्देश उन व्यक्तियों के लिये सहायक सिद्ध होंगे जो यहाँ वर्णित प्रयोग स्वयं करना चाहते हैं।

इंडिया-रबर पृष्ठ की बूँद

इंडिया-रबर (खिलौना बैलून की रबर) की पतली चादर लीजिये। इसकी मोटाई लगभग हवाई गेंदों के फटने से पहले जैसी होनी चाहिये। इसे लकड़ी या धातु के 18 इंच व्यास के छल्ले पर तानिये और किनारों पर तार से बाँध लीजिये। यदि छल्ले पर खाँचे बने हों तो तार इसे अधिक कुशलतापूर्वक बाँध पायेगा। छोटे पैमाने पर यह सफल नहीं होगा। यह प्रयोग सर डब्लू टॉमसन ने रॉयल इंस्टीट्यूट में प्रदर्शित किया था।

उछलने वाली संरचना

इसे लगभग 2 इंच के काँच के गोले की सहायता से बनाया जा सकता है। उदाहरणस्वरूप इसके लिये क्रिसमस-वृक्ष को सजाने वाली रूपहली गेंदें अथवा पिपेट[49] का गोला इस्तेमाल किया जा सकता है (मैंने यही इस्तेमाल किया)। इसके खुले सिरों पर 1/30 इंच व्यास के तार बाँध लीजिये और अंदर पानी जाने के रास्ते लाख से बंद कर लीजिये। गोले से एक-दो इंच ऊपर पतले तार की चपटी संरचना जोड़ लीजिये। यदि यह बहुत कठिन प्रतीत हो तो, इसे लाख से जोड़ने का प्रयास कीजिये। नीचे की ओर एक सीसे का टुकड़ा बाँध-अथवा लटका लीजिये। इसे धीरे-धीरे उस

समय तक खुरचिये जब तक यह ऐसी स्थिति में आ जाये कि पानी के पृष्ठ से उछल न पाये। उल्लेखित मापें महत्वपूर्ण नहीं हैं।

पैराफीन-आवरित जाली

तांबें की ऐसी जाली लीजिये जिसके प्रत्येक इंच में लगभग 20 तार हों। इससे लगभग 8 इंच व्यास का गोल टुकड़ा काट लीजिये। इसे एक गोल ब्लाक पर इस प्रकार रखिये कि यह ब्लाक के चारों ओर लगभग एक इंच बाहर निकला रहे। किनारों को धीरे-धीरे हाथ से दबाकर मोड़ लीजिये और इसकी ऊपरी सतह चपटी रहने दीजिये। यह सरलता से किया जा सकता है। अब मुड़े हुए किनारों पर एक मोटा तार (कई बार) इस प्रकार बाँध लीजिये कि ये कड़े हो जायें। इसमें टांका लगा लीजिये, यद्यपि सावधानी-पूर्वक तार बाँधना ही शायद पर्याप्त हो। बहुत अच्छी कोटी का कुछ पैराफीन मोम या एक-दो मोम-बत्तियाँ किसी चपटी तश्तरी में पिघला लीजिये। सीधा आग पर ऐसा करना खतरनाक हो सकता है, अतः इसके लिये गर्म प्लेट का प्रयोग कीजिये। जब यह मोम पिघल कर पानी की तरह पारदर्शक दीखने लगे तो जाली को इसमें डुबाइये और गर्म अवस्था में ही इसे शीघ्रता से बाहर निकाल कर, एक दो बार मेज़ पर पटक कर छेदों में फंसा मोम निकाल दीजिये। अब ठंडा होने के लिये उलटा छोड़ दीजिये और इस बात की सावधानी बरतिये कि जमा हुआ मोम खुरच अथवा रगड़ से छुट न जाये। यह प्रक्रिया किसी ऐसी जगह की जानी चाहिये, जहाँ मोम आदी फैल जाने से उत्पन्न गंदगी की चिन्ता न करनी पड़े। अब इसमें पानी भरने या पानी पर तैराने में कोई कठिनाई नहीं है।

पतली नलियाँ और कोषिकत्व

किसी औषधि विक्रेता से पंख-कलम जैसी पतली नली ले लीजिये। यदि यह एक फुट से लम्बी हो तो इस पर तिकोनी रेती से गहरा निशान खुरच कर इसे तोड़ लीजिये। बहुत पतली नलियाँ बनाने के लिये इसके सिरे पकड़ कर, मध्य भाग गैस की चमकीली और चपटी लौ के सर्वाधिक चमकीले भाग में गर्म कीजिये। इससे धीरे-धीरे तब तक घुमाते रहिये जब तक यह इतनी मुलायम हो जाये कि इसे सीधा रख पाना कठिन होने लगे। अब इसे मोड़कर कोई भी आकार दिया जा सकता है। इसके लिये इसे आग में उस समय तक सही स्थिति में पकड़े रहना होगा जब तक इस पर एकत्रित काला धुंआ चिटक कर छूटने न लगे। अब इसे शीघ्रता से लौ के बाहर निकालकर दोनो सिरों को एक दूसरे से दूर खींचिये। इस प्रकार इसके मध्य भाग में एक लम्बी पतली नली बन जायेगी। गर्मी नियंत्रित कर खींचने के उचित ढंग से, इसे इच्छानुसार पतला या मोटा बनाया जा सकता है। निर्देश इस विषय में उतनी जानकारी नहीं दे सकते, जितना थोड़ा सा अभ्यास। नलियाँ खींचने के लिये बुनसेन या धौंकनी की लौ विशेष सुविधा-जनक है लेकिन नलियाँ मोड़ने के लिये चपटी गैस की लौ सर्वोत्तम है। ट्यूबों के ठंडा होने तक उन पर एकत्रित धुँआ मत हटाईये। शीघ्रता-पूर्वक ठंडा करने के लिये उन्हें गीला न करिये न ही फूंक मारिये। देहात में जहां गैस उपलब्ध न हो स्प्रिट-लैंप से काम चलाया जा सकता है, लेकिन इसकी कार्यकुशलता गैस की लौ जैसी अच्छी नहीं होती। यह नलियाँ जितनी पतली होंगी, स्वच्छ पानी इनमें उतना ही ऊपर तक चढ़ेगा। पानी को रंगीन बनाने के लिए बच्चों के रंगबक्स के रंग (वाटर कलर) इस्तेमाल किये जा सकते हैं। तरल न होने के कारण यह बहुत पतली नलियों में फंस सकते हैं, अतः इनमें से ऐसे ही रंग इस्तेमाल करने

चाहिये जो चीनी की तरह घुलनशील हों। 'सौल्यूबिल ब्लू' नामक एक ऐनीलीन रंग[60] इन प्रयोगों के लिये बहुत अच्छा है, थोड़ा सिरका[51] मिला देने से यह अधिक टिकाऊ हो जाता है।

प्लेटों के बीच कोषिकत्व

इसके लिये लगभग 5 इंच वर्ग की दो चपटी प्लेटें आवश्यक हैं। यदि यह पूर्णतः स्वच्छ हैं और सरलता से गीली होती हैं तो कोई कठिनाई नहीं होगी। इन्हे साफ़ करने के लिये साबुन और गर्म पानी पर्याप्त है।

शराब के आँसू

यह 'पोर्ट' नामक शराब के आधे भरे गिलास में सर्वाधिक अच्छी तरह दीखते हैं। यदि पोर्ट उपलब्ध नहीं है तो 'वाईन' के एक भाग पानी और बहुत थोड़ी रोजानीलीन[52] मिला कर इन्हें देखा जा सकता है। एक बड़े शराब के गिलास के लिये लगभग सरसों के बीज के बराबर रंग पर्याप्त होगा। गिलास के किनारों को शराब से गीला कर लेना चाहिये।

बिल्ली-बक्से

हर स्कूली लड़का इन्हें बनाना जानता है। यह कागज़ में छेद (स्लिट) काटकर नहीं बनाये जाते। यह केवल इसे मोड़कर और 'मेढ़क' (जो स्वयं कागज़ को मोड़ कर बनता है) की तरह फुलाकर बनाये जाते हैं।

द्रवीय गोलियाँ

यह सोने को पिघलाने की जगह मेज़ पर लाईकोपोडियम चूर्ण या कोई और बारीक चूर्ण छिड़कने के बाद पानी फैलाकर अथवा

किसी चिकनी मेज़ पर पारे को लुढ़का (या फेंककर) बनायी जा सकती हैं। छोटी और बड़ी गोलियों का अंतर सरलता से देखा जा सकता है। आवर्धक-काँच (मैगनीफाइंग ग्लास) की सहायता से यह और अधिक स्पष्ट दीखता है। पारे के प्रयोग में सावधानी बरतिये कि यह सिक्कों, अलंकारों अथवा किताबी आवरणों के सजावटी मुलम्मे पर न गिरे, इससे ये क्षतिग्रस्त हो जायेंगे।

प्लैटो का प्रयोग

इस प्रयोग को ठीक से कर पाने के लिये बहुत कुशलता और कठिनाईयों का सामना आवश्यक है (यद्यपि सीमित सफलता सहजता से प्राप्त की जा सकती है)। एक स्वच्छ बोतल में एक बड़ा चम्मच सलाद का तेल[53] डालकर नौ भाग (आयतन) अंगूरी मदिरा (वाईन) की स्प्रिट (मिथाइल स्प्रिट नहीं)और सात भाग पानी का मिश्रण लीजिये। इसे भली-भाँति हिलाकर (आवश्यक हो तो) एक दिन के लिये ऐसे ही छोड़ दीजिये। तेल स्वयं नीचे आ जायेगा। ऊपरी मिश्रण से एक गिलास भर लीजिये। एक बारीक काँच की नली से गिलास के मध्य में धीरे से थोड़ा पानी डाल दीजिये। इससे नीचे का द्रव कुछ भारी हो जायेगा। ऊपरी मिश्रण से एक गिलास भर लीजिये। एक बारीक काँच की नली से गिलास के मध्य में धीरे से थोड़ा पानी डाल दीजिये। इससे नीचे का द्रव कुछ भारी हो जायेगा। तेल में एक नली डुबा कर, इसका ऊपरी सिरा उंगली से बंद रखकर कुछ तेल नली में खींच लीजिय इसे सावधानीपूर्वक गिलास में डाल दीजिये। यदि यह तली पर पहुँच जाता है तो गिलास के निचले अर्धभाग में कुछ और पानी डालना होगा। यदि तेल ऊपर ही तैरता रहता है तो ऊपरी अर्ध-भाग में कुछ और स्प्रिट की आवश्यकता है। अंत में तेल, मिश्रण के ठीक मध्य में तैरने लगेगा। अब सावधानीपूर्वक और अधिक तेल इस प्रकार डाला जा सकता है कि यह किनारों को

न छुए। यदि तेल के ऊपर और नीचे वाले द्रव का घनत्व ठीक है तो इस प्रकार अर्धपेनी[54] के माप की बिल्कुल गोल बूँद बनाई जा सकती है। काँच के अंदर यह बिलकुल गोल नहीं दिखाई देगी, क्योंकि काँच इसका स्वरूप किनारों की ओर आवर्धित कर देगा (यद्यपि ऊपर नीचे ऐसा नहीं होगा) यह द्रव में इसके ठीक ऊपर एक सिक्का रख कर देखा जा सकता है। बूँद का सही आकार देखने के लिये बर्तन गोलाकार या एक ओर चपटे काँच का होना चाहिये।

तेल को चक्र की तरह घुमाना (जिससे वह छल्ले बना सके) अधिक महत्वपूर्ण नहीं है। लेकिन यदि पाठक किसी सीधे तार पर तीन-पेनी[55] के सिक्के के माप की एक चकती जोड़ पायें और इसे (बिना हिलाये) नचायें तो तेल के छल्ले का टूटना देख सकते हैं। इसे घुमाना अचानक बंद करने पर बूँद या तो अपना पहला स्वरूप पुनः ग्रहण कर लेगी या तीन चार गोलियों में टूट जायेगी। चकती को स्प्रिट और पानी के मिश्रण में डुबाने से पूर्व तेल से गीला कर लेना आवश्यक है।

साबुन के बुलबुले बनाने के लिये अच्छा मिश्रण

मंहगें फैन्सी साबुनों की अपेक्षा, साधारण पीला साबुन अधिक उपयुक्त है। मंहगें साबुनों में अनेक अतिरिक्त पदार्थ मिले होते हैं। कैस्टिले साबुन[56] इन प्रयोगों के लिये बहुत अच्छा है और यह किसी भी केमिस्ट से प्राप्त किया जा सकता है।

केवल साबुन और पानी से फूंके गये बुलबुले अनेक वर्णित प्रयोगों में पर्याप्त टिकाऊ नहीं होते। प्लैटो ने मिश्रण में थोड़ी ग्लिसरीन[57] मिला ली थी, जिससे इनका टिकाऊपन बढ़ जाता है।

इसके लिये साधारण ग्लिसरीन उपयुक्त नहीं है, यह शुद्ध होनी चाहिये। शुद्ध आसवित पानी इस्तेमाल करना चहिये, लेकिन यदि यह उपलब्ध न हो तो साफ़ वर्षा के पानी से काम चल सकता है। सूखे मौसम के बाद आरम्भिक वर्षा का पानी न लीजिये। कुछ प्रतीक्षा के बाद जो पानी छत से नीचे आता है, उपयुक्त होता है। विशेषतः यदि छत नीली स्लेट या काँच की हो। यदि वर्षा का ताजा पानी न मिले तो सर्वाधिक 'मुलायम' उपलब्ध पानी इस्तेमाल करना चाहिये। प्लैटो के अनुभवानुसार कैस्टिले साबुन की अपेक्षा जैतून के तेल से बना शुद्ध साबुन और अधिक उपयुक्त है। इसे सोडा का ओलिएट[58] कहते हैं। यह किसी केमिस्ट निर्माता से ताज़ा बना हुआ लेना चाहिये। पुराना, सूखा साबुन इतना अच्छा नहीं होता। प्लैटो के सूत्र (फारमूले) की जगह, मैंने प्रोफेसर रीनाल्ड और रूकर द्वारा इसका परिवर्तित रूप इस्तेमाल किया। उन्होंने इसमें प्लैटो की अपेक्षा कम ग्लिसरीन डाली। यह निम्न विधि से निर्मित किया जा सकता है। रोधनी (स्टापर) वाली एक स्वच्छ बोतल लगभग तीन चौथाई पानी से भर लीजिये। इसके भार काी सोडा का ओलिएट इसमें डाल लीजिये। यह इसमें घुल जायेगा। बोतल को 1/40 प्राईस की ग्लिसरीन से लगभग पूरा भर दीजिये। अब इसे भली-भांति हिलाइये, अथवा अनेक बार एक बोतल से दूसरी में डालकर मिश्रण के अवयवों को ठीक से मिलाइये। रोधनी लगाकर बोतल को लगभग एक सप्ताह तक अंधेरी जगह में रख दीजिये। अब ऊपर एकत्रित गंदगी के नीचे से स्वच्छ द्रव साईफन (अर्थात् एक मुड़ी हुई नली, जिसका एक छोर नीचे तली तक पहुँच सके और दूसरा बाहर रहे) की सहायता से बाहर खींच लीजिये। इसके प्रत्येक पाइंट में एक-दो बूँद सांद्र द्रव अमोनिया[59] डाल लीजिये। अब इस बोतल को सावधानी पूर्वक रोधनी लगाकर अंधेरे में रख लीजिये और द्रव की भंडारण-बोतल के रूप में प्रयोग कीजिये। बुलबुले बनाने के लिये इसे बार-बार बाहर मत

निकलिये, इसके लिये द्रव का कुछ भाग दूसरी बोतलों में स्थानान्तरित कर लीजिये। दूसरी बोतलों का द्रव मूल बोतल में वापस मत डालिये। बनाते समय इसे गर्म मत करिये न ही छानिये। ये दोनों क्रियाएँ इसे खराब कर देंगी। बोतलों की रोधनी आवश्यकता से अधिक खुली मत रखिये और हवा की क्रिया से इसे यथासंभव बचाइये। दो वर्ष बाद भी द्रव ठीक बना रहता है। यह विस्तृत निर्देश मैंने इसलिये नहीं दिये कि यह अनिवार्य हैं, बल्कि इसलिये कि स्वयं मैंने यही विधि अपनायी थी और अन्य कोई घोल मुझे इससे अच्छा प्रतीत नहीं हुआ। कैस्टिले साबुन, 'प्राइस' की ग्लिसरीन, वर्षा का पानी और इनके उल्लेखित अनुपात प्रायः सभी आवश्यकतायें बहुत अच्छी तरह पूरी करेंगे।

बुलबुलों के लिये छल्ले

यह किसी भी प्रकार के तार से बनाये जा सकते हैं। मैंने टिन-आवरित लोहे के तारों का उपयोग किया जिनका व्यास लगभग 1/20 इंच था। जोड़ों पर पिंड-रहित चिकना टांका लगा लेना चाहिये। यदि टांका लगाने में कठिनाई हो तो ऐसा कड़ा पतला तार इस्तेमाल कीजिये, जिसके छल्ले बुलबुलों को ठीक से साध सकें। जोड़ों पर तार को दो-तीन बार मोड़ लीजिये। मैंने इन छल्लों को पैराफीन में डुबा लेने की संस्तुति देखी है, लेकिन स्वयं इसका कोई विशेष लाभ अनुभव नहीं किया। हल्के छल्लों के लिये एल्यूमिनियम का पतला तार सर्वोत्तम है। इसकी मोटाई पतली पिन जितनी होनी चाहिये (26 से 30 नम्बर, बी0डब्लू0जी0)। क्योंकि इसमें टांका नहीं लगाया जा सकता किनारों को मोड़ लेना चाहिये। यदि यह तार उपलब्ध न हो तो ताँबें का बाल जितना पतला तार (36 नम्बर बी0डब्लू0जी0) इस्तेमाल किया जा सकता है। इन छल्लों पर साबुन के बुलबुले रखने से पहले इन्हें साबुन के मिश्रण से गीला कर लेना चाहिये।

छल्लों में धागे

यह प्रयोग कोई कठिनाई प्रस्तुत नहीं करते। धागा-बंधे छल्लों को साबुन के घोल में डुबाया जा सकता है अथवा द्रवीय-घोल में डूबे कागज या इंडिया-रबर की चादर के किनारों को इनके आर पार ले जा कर इनके दोनों ओर फिल्म बनायी जा सकती है। एक ऐसी सुई जो स्वयं घोल में गीली कर ली गयी है, यह जानने के लिये प्रयोग की जा सकती है कि धागे पर्याप्त ढीले हैं अथवा नहीं। यही सुई मोमबत्ती की लौ में गर्म कर, फिल्म को तोड़ने के लिये इस्तेमाल की जा सकती है।

साबुन के बुलबुले से मोमबत्ती बुझाना

इसके लिये बुलबुले को एक छोटी और चौड़ी नली के सिरे पर फूंकना चाहिये, ताकि बुलबुला इस पर रोका जा सके। इसके लिये साधारण गैज़ोजीन[60] के साथ मिलने वाली कीप बहुत उपयुक्त है। बाद में गैज़ोजीन भरने से पहले इसे धो लेना चाहिये।

परस्पर संतुलित बुलबुले

यह प्रयोग छोटे पैमाने पर सुविधा-पूर्वक किये जा सकते हैं। इसके लिये पीतल की 3/8 अथवा आधा इंच व्यास की नलियाँ उपयुक्त है। उपकरण को टोंटियों सहित बनाना सर्वोत्तम है। इनकी आवश्यकता बुलबुलों में सरलता से हवा रोके रखने तथा उनमें परस्पर संबंध स्थापित करने के लिये होती है। इसके लिये एक दूसरा उपाय भी संभव है, इसमें इंडिया-रबर की नलियाँ जोड़ी जा सकती हैं और प्रवाह-नियंत्रण के लिये टोंटियों के स्थान पर स्प्रिंगदार क्लिपों से काम चलाया जा सकता है। प्रयोग की सफलता के लिये एक बात विशेष महत्वपूर्ण है। उपकरण में

बुलबुला फूंकने के लिये उपयुक्त मुख-भाग होना चाहिये। यह काँच की बहुत पतली नली के रूप में खिंचा होना चाहिये, जिससे बुलबुले अचानक फट न जायें। इसके बिना इतने छोटे बुलबुलों में हवा की उपयुक्त मात्रा नियंत्रित करना बहुत कठिन है। गोल तथा बेलनाकार बुलबुलों के संतुलन में हवा की आपूर्ति के लिये, नली के एक छोटे टुकड़े की व्यवस्था आवश्यक है, जिसे इच्छानुसार समान माप की एक ओर बंद नली से जोड़ा या अलग किया जा सके। इस पतली नली के दोनों ओर काग़ज़ या इंडिया-रबर के टुकड़े की सहायता से फिल्म बना लेना चाहिये, लेकिन इसके आर-पार कोई फिल्म नहीं होनी चाहिये। गोल बुलबुला निर्मित होने तक दोनों नलियाँ बहुत समीप होनी चाहियें। फिर धीरे-धीरे इन्हें अलग कर हवा फूँकना चाहिये, जिससे बेलन के किनारे सीधे हो जायें। ऐसा तब तक करना चाहिये जब तक बेलन पर्याप्त लम्बा हो जाये और अस्थायी होने लगे। छोटे बुलबुले की अपेक्षा उपरोक्त लम्बा बुलबुला गोलक और बेलन में दबाव का संतुलन अधिक कुशलता पूर्वक प्रदर्शित कर सकेगा। इस स्थिति में परदे पर इनका व्यास मापने पर बेलन का व्यास गोलक के व्यास का ठीक आधा होगा।

टॉमाट्रोप द्वारा बूँदों की निर्माण-प्रक्रिया और दोलन का प्रदर्शन

बूँदों की निर्माण-प्रक्रिया का अनुकरण टॉमाट्रोप नामक एक प्राचीन उपकरण द्वारा किया जा सकता है। इसका निर्माण चित्र 35 (मौलिक चित्र का व्यास दो फुट था) की सहायता से किया जा सकता है। इसमें द्रव अथवा बूँदों की कोई आवश्यकता नहीं है, लेकिन इनकी गतिविधियां देखी जा सकती हैं। इस चित्र में गतिशील बूँदों के प्रत्येक दो सैकंड में लिये गये 243 फोटो-चित्र

सम्मिलित हैं।

चित्र के माप की एक अच्छी दफती लीजिये। ब्रुश से इसकी एक ओर पतला पेस्ट पूरे क्षेत्र में लगा लीजिये। चित्र को इस पर रख कर सब जगह समान शक्ति से दबाइये। अब इसे मेज पर रख कर कुछ सोखते काग़ज़ों से ढक दीजिये। इसे चपटा बनाये रखने के लिये ऊपर उपयुक्त माप का पटरा रख दीजिये और इस पर कुछ भार रख दीजिये। सूखने के लिये कम से कम रात भर इसे ऐसे ही छोड़ दीजिये, अन्यथा यह मुड़ कर अनुपयोगी हो जायेगा। अब इसमें तेज़ छेनी या चाकू से (संभव हो तो छेनी से) इसकी श्वेत-श्याम रूपरेखा पर 43 स्लिटें काट लीजिये (यह यथासंभव पतली होनी चाहिये)। मध्य में एक ऐसा छेद काट लीजिये जिसमें धागे की रील का बाहरी भाग ठीक से बैठ सके। रील को गोंद या पतली कीलों से चित्र से जोड़ लीजिये। यह ठीक बीच में होनी चाहिये।

अब कोई पेन्सिल या ऐसी उपयुक्त छड़ खोज लीजिये, जिसे धुरी बना कर रील इसके चारों ओर घुमाई जा सके। इस प्रकार चित्र को शीशे के समक्ष रख कर अच्छे प्रकाश में निरंतर धीरे-धीरे घुमाइये। स्लिटों से चित्र का जो प्रतिबिम्ब शीशे में दीखेगा, वह बूँद के विकास और गिरने की प्रक्रिया की सब विशिष्टताऐं प्रदर्शित करेगा। बूँद धीरे-धीरे बढ़ कर बहुत भारी हो जायेगी और संभल नहीं पायेगी। अब इसमें 'कमर' बनने लगेंगी, जो धीरे-धीरे पतली होती जाएगी और अंततः टूट जायेगी। इसका गिरना, नीचे के द्रव में मिल कर लुप्त हो जाने तक दीखता रहेगा। लेकिन तुरन्त इसमें मिश्रित न होने के कारण यह टकरा कर पुनः दिखाई पड़ेगी। एकतरफा खिंचाव से अचानक छुटकारा मिलने के कारण गिरते समय इसका दोलन दिखाई देगा। इस दौरान इसमें

एक और 'गर्दन' बन रही है, जो एकत्रित हो कर स्वयं एक बूंद निर्मित कर रही है। कुछ समय बाद यह शेष लटकन के बलशाली दोलन की शक्ति से नीचे खिंचने लगेगी। लटकी हुई बूँद दोलित और विकसित होती दिखाई देगी और अंततः यह भी टूट जायेगी। इस प्रकार हमारा यह उपकरण संपूर्ण प्रतिभास दोहराता हुआ प्रतीत होगा।

प्रयोग ठीक से कर पाने के लिये, धुरी को किसी आधार पर साध लेना चाहिये और चक्र की गति दो सेकेण्ड प्रति चक्कर से अधिक नहीं होनी चाहिये।

यदि शीशे और चित्र के बीच में एक परदा रख दिया जाये तो बूँद के प्रभाव और अधिक वास्तविक प्रतीत होंगे।

पैराफीन और कार्बन-बाई-सल्फाईड में पानी की बूँदें

प्लैटों के प्रयोग के विषय में कहीं गयी बातें यहाँ भी लागू होती हैं। पूर्णतः गोलाकार बड़ी बूँदें ऐसे उपयुक्त मिश्रण में बनायी जा सकती है, जिसके निचले भाग का घनत्व पानी से कुछ अधिक और ऊपरी भाग का कुछ कम हो। कार्बन-बाई-सल्फाइड नामक द्रव मिश्रण का घनत्व बढ़ा देता है।यह खतरनाक होता है और इसमें तीखी दुर्गन्ध होती है, अतः इसे घर के अंदर नहीं लाना चाहिये। केवल पैराफीन में भी 'लटकती बूँद' तथा इसके टूटने की प्रक्रिया देखी जा सकती है। लेकिन पैराफीन में कुछ कार्बन-बाई-सल्फाईड मिश्रित कर देने से यह अधिक स्पष्ट हो जाती है। इस मिश्रण में पानी अपेक्षाकृत धीमी गति से नीचे गिरता है! आधी से एक इंच व्यास की काँच-नली के (दोनों ओर खुले) टुकड़े प्रक्रिया को बहुत अच्छी तरह प्रदर्शित करते हैं। काँच के

बर्तन में कुछ रंगीन पानी लेकर तथा इस पर कुछ इंच मोटा पैराफीन अथवा पैराफीन-मिश्रण का पृष्ठ बिछा कर नली को पानी में डुबाईये। नली के सिरे को आरम्भ में अंगूठे अथवा हथेली से बंद रखिये। बाद में इसे खोलने पर पानी नली में ऊपर चढ़ आयेगा। सिरा पुनः बंद कर लीजिये और इसे जलीय-पृष्ठ से बाहर पैराफीन पृष्ठ में पर्याप्त ऊपर तक ले आईये। अंगूठा हटा कर हवा को नली में प्रविष्ट होने का अवसर दीजिये। पानी नली से धीरे से बाहर आकर एक बड़ी विकासशील बूँद निर्मित करेगा। टूटने से पहले का इसका माप मिश्रण के घनत्व और नली के व्यास पर निर्भर करेगा।

पैराफीन में पानी के बेलनाकार बुलबुले बनाने के लिये नली को पहले की तरह पानी से भरिये, लेकिन इसका ऊपरी सिरा खुला रहने दीजिये। फिर पानी नली की लम्बाई की दिशा में भरकर शीघ्रता-पूर्वक बाहर खींचिये। इसका पानी बेलनाकार रूप में पैराफीन के अंदर पीछे छूट जायेगा। बड़ी नली के उदाहरण में इसके अंदर का द्रव अब प्रयाप्त धीमी गति से छोटे-छोटे गोलकों में टूटने लगेगा, जिन्हे सहजता से देखा जा सकेगा। पैराफीन की गहराई नली के व्यास से दस-गुने से अधिक होनी चाहिये।

पैराफीन में पानी के बुलबले निर्मित करने के लिये नली का उपरी सिरा खुला रखते हुए, इसे पानी में इस प्रकार अंदर तक डुबाइये कि इसका अधिकांश भाग पैराफीन से भर जाये। अब यह सिरा बंद कर, नली को पानी की सतह से पूर्णतः ऊपर उठा लीजिये। अब इसके उपरी सिरे से हवा धीरे-धीरे प्रविष्ट होने देने पर और नली को सावधानी-पुर्वक उपर उठाने पर पानी से भरे पैराफीन के बुलबुले निर्मित होने लगेगें। साबुन के बुलबुलों की तरह, चर्च-वार्डेन[63] के हलके झटके से नली से अलग किया जा सकता है। यदि नली के अंदर पैराफीन में पानी की अनेक बूँदें

तैर रही है(ऐसा कर पाना सहज है), तो अनेक निर्मित बुलबुलों के अंदर कुछ अन्य बूँदें या बुलबुले भी हो सकते है। किसी नली की सहायता से इनके नीचे थाड़ी मात्रा में कार्बन-बाइ-सल्फाइड बिछा देने पर, यह संयुक्त बुलबुले उस पर तैरते रहेंगे।

पानी के पैराफीन में बेलनकार बुलबुले, नली को खुला रखते हुए, पानी में गहराई तक डुबा कर और फिर सहसा बाहर निकाल कर बनाये जा सकते है। यह टूटकर उसी प्रकार गोल बुलबुलों में परिवर्तित हो जायेंगे, जिस प्रकार दुवयि बेलन दुवयि गोलको में परिवर्तित हो गये थे।

मकड़ी के जालों की गोलियाँ

यह गोलियाँ सब मकड़ियों के ज्यामितीय जालों के सर्पिल भाग में विद्यमान होती हैं। यह सुंदर जाले शरद ऋतु में घरों के बाहर और प्रायः पूरे वर्ष पौधा-घरों में प्रचुरता से दीखते हैं।इन्हें निम्न विधि से किसी उपयुक्त आधार पर रखकर, गोलियाँ देखी जा सकती है। इसके लिये कोई छोटा छल्ला अथवा दफ्ती का टुकड़ा लीजिये। दफ्ती में एक छेद काट लीजिये और कुछ गोंद पोत लीजिये। कोई नव-निर्मित जाला चुनिये। दफ्ती या छल्ले को इस प्रकार जाले के आर-पार ले जाईये कि इसका कुछ सर्पिल भाग (केन्द्रीय भाग नहीं) छेद में तना रह जाये। इस क्रिया में जाले को किनारों के अतिरिक्त अन्य स्थानों पर क्षतिग्रस्त न होने दें। बहुत छोटी होने के कारण यह गोलियाँ, आवर्धक काँच (मैगनीफाइंग ग्लास) का उपयोग किये बिना ठीक से नहीं दीखतीं लेकिन इसकी सहायता से इनकी सुंदर नियमितता देखी जा सकती है। छोटी मकड़ियों के जालों में यह नियमितता इतनी अधिक नहीं होती जितनी पूर्णतः विकसित मकड़ियों के जालों में। वह छोटी गोलियाँ

जो शरद ऋतु में, आवर्धक काँच की सहायता बिना ही दिखाई पड़ती है, मकड़ी निर्मित नहीं करती, बल्कि केवल ओस होती है। ये छोटी बूँदों का गोल स्वरूप प्रदर्शित करती हैं।

जल-प्रधारों के फोटो-चित्र

यह चीसेस्टर बेल द्वारा वर्णित विधि से सरलता से प्राप्त किये जा सकते हैं। इस विधि में लीडेन जार[61] की तात्कालिक चिंगारियों से उत्पन्न प्रकाश दीप्तियों का उपयोग किया जाता है। फव्वारे या प्रधारें इनसे पाँच-छः फुट दूर होनी चाहियें, और फोटो-प्लेटें (उन्हें छुए बिना) कम से कम फासले पर पकड़े रहना चाहिये। इससे इन पर बहुत स्पष्ट छाया पड़ेगी और फोटो-चित्र कम शक्तिशाली लेन्स से देखने पर भी स्पष्ट दीखेगा। कोई भी शीघ्र-गति प्लेट उपयुक्त होगी। फोटो-चित्र लेते समय कमरे में अंधेरा होना आवश्यक है। प्रधारों के टूटने की प्रक्रिया किसी भी प्रकार की ध्वनि से उत्पन्न की जा सकती है। चित्र 41 की सीधी प्रधार सवा तीन गुना आवर्धित है। यह केवल एक चाभी से सीटी बजा कर तोड़ी गयी थी। फव्वारे को तोड़ने के लिये थूथन में एक लम्बी डंडी का सिरा बाँध दिया गया था, और दूसरा सिरा स्वरित्र-द्विभुज के आधार के साथ शिंकजे (क्लैंप) से कस दिया गया था। थूथन से जुड़ा साधारण स्वरित्र-द्विभुज भी प्रयोग किया जा सकता है किन्तु यह इतना सुविधा-पूर्ण नहीं है। कुछ विशेष ध्वनियाँ प्रधार को अधिक कुशलता पूर्वक तोड़ती है, लेकिन यह काफी सीमा तक छेद का माप और पानी का दबाव परिवर्तित कर समस्वरित (ट्यून) किया जा सकता है।

फव्वारे और लाख

यह साधारण लेकिन आश्चर्यजनक प्रयोग प्रायः कभी असफल नहीं

होता। इंच के पच्चीसवें भाग व्यास की प्रधार और आठ फुट तक ऊपर उठने वाले फव्वारे का फैलाव कुछ दूरी पर फ्लैनल से रगड़ा हुआ लाख पकड़ने से रुक जाता है। प्रयोग के लिये लगभग इंच के सोलहवें भाग व्यास के थूथन से निकलने वाला चार फुट ऊँचा फव्वारा सर्वाधिक उपयुक्त है। थूथन को इस प्रकार तिरछा पकड़ना चाहिये कि पानी एक ओर गिरे। लाख कोट की बाँह, सूखे फ्लैनल या लोमचर्म (फर) के किसी टुकड़े से रगड़ कर विद्युतित की जा सकती है। इस अवस्था में यह कागज़ अथवा कार्क के छोटे टुकड़ों को नचा सकती है लेकिन इन पर अथवा स्वर्णपत्र विद्युतदर्शी (एलेक्ट्रोस्कोप[62]) पर इसका प्रभाव समाप्त हो जाने के बाद भी यह फव्वारों पर क्रिया कर सकेगी।

टकराती जल प्रधार

लार्ड रैले का यह सुन्दर प्रयोग ठीक प्रकार करने के लिये कुछ पूर्व व्यवस्था आवश्यक है। पंख जैसी पतली काँच की नली को थोड़ा खींच लीजिये (एक पिछली टिप्पणी देखिये) जिससे इसके सर्वाधिक पतले भाग का व्यास 1/8 इंच हो जाये। रेती से पतला खाँचा बनाकर इसे इस स्थान पर तोड़ लीजिये। दो बोतलों में पानी लेकर इनसे नली के दोनों भाग इंडिया-रबर की नलियों अथवा टोंटियों द्वारा जोड़ लीजिये। रबर की नलियों में प्रवाह पेंचदार क्लिपों से नियंत्रित करिये, जिससे दो समान प्रधारें बन जायें। थूथनों को इस प्रकार पकड़िये कि प्रधारों के आरम्भिक चिकने भाग परस्पर बहुत छोटा कोण बनायें। प्रधारें परस्पर टकरा कर कुछ समय तक अमिश्रित अलग-अलग प्रवाहित होती रहेंगी। यदि हवा में बहुत अधिक धूल है, पानी स्वच्छ नहीं है, अथवा नलियों में हवा के बुलबुले हैं तो दोनों तत्काल जुड़ जायेंगी। जो व्यवस्था मैंने लालटेन के समक्ष प्रस्तुत की थी, उसमें दोनों थूथन

समतल और लगभग आधा इंच ऊपर-नीचे थे। ये एक दूसरे की ओर बहुत कम अभिमुख थे। इन्हें इस स्थिति में पिघली लाख से जोड़ लिया गया था। पानी के स्रोत दो अलग-अलग बोतलों में थे। ये थूथनों से लगभग छः इंच ऊपर इंडिया-रबर की नलियों से जोड़ी गयी थीं और प्रवाह पेंचदार क्लिपों से नियंत्रित किया गया था। इनमें से एक बोतल को विद्युतारोधी बनाये रखने के लिये, लाख के तीन टुकड़ों पर रखा गया था। पानी छान लिया गया था और एक बोतल का पानी नीला रंग लिया गया था। उपरोक्त सावधानियाँ बरतने पर (प्रायः नल का सादा पानी इस्तेमाल किया जा सकता है) प्रधारें काफी देर तक अलग दीखती रहती हैं, लेकिन विद्युतित लाख के प्रभाव से ये छः से आठ फुट दूर परस्पर जुड़ जाती हैं। थूथन के मुख पर उंगली के स्पर्श से प्रधारों की दिशा बदल जाती है और ये पुनः अलग की जा सकती हैं। उंगली हटा लेने पर ये पिछली स्थिति में वापस लौट आती हैं और टकराने लगती हैं। इस प्रकार ये एक मिनट में दस-बारह बार अलग कर पुनः जोड़ी जा सकती हैं।

फव्वारा और आंतरायिक (इंटरमिटेन्ट) प्रकाश

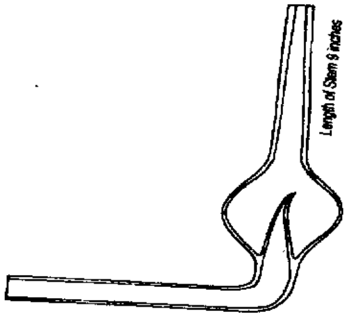
यह प्रयोग विद्युत-आर्क का उपयोग कर बहुत से व्यक्तियों को एक साथ दिखाया जा सकता है। केवल एक व्यक्ति के लिये इसका उपयोग बहुत अच्छा अवसर प्रतीत नहीं होता। प्रयोग में फव्वारा बहुत चमकदार पृष्ठ-भूमि में (उदाहरणतः आकाश में) चलाना होगा और वर्णित क्रियाओं, उदाहरणतः स्वरित्र-द्विभुज अथवा संगीत-स्वरों से इसे तोड़ना होगा। अब इसे एक विशिष्ट छेददार दफ्ती की चकती की सहायता से देखा जा सकता है, जिसे हम निम्न विधि से बना सकते हैं। इसके बाहरी किनारे को चारों ओर दो या तीन इंच चौड़ी जगहों में विभक्त कर लीजिये। प्रत्येक

दो जगहों के बीच 1/8 इंच व्यास का छिद्र बना लीजिये। पांच इंच व्यास की ऐसी चकती, जिसमें किनारे से आधा इंच अंदर, बराबर दूरी पर छः छिद्र हों, उपयुक्त होंगी। इसे किसी उपयुक्त विधि से इस प्रकार नियमित गति से घुमाईये कि दोलित स्वरित्र-द्विभुज या तानित-धागा, छिद्रों से देखने पर स्थिर दिखाई दे। बूँदें इस प्रकार बिल्कुल अलग-अलग दिखाई देंगी और पिछले पृष्ठों में वर्णित तथ्य (तथा और भी बहुत कुछ) स्पष्ट हो जायेगा। यह बहुत आकर्षक प्रयोग है और इसे सफलतापूर्वक करना अत्यंत उपयोगी है। इस प्रयोग में जो मोटर मैंने चकती को घूमाने के लिये इस्तेमाल की वह कुटरिस एवं कम्पनी की पी0 आई0 मोटर थी। ये मोटरें इस प्रकार के प्रयोगों के लिये अत्यंत उपयोगी हैं। यह ग्रोवर की चार विद्युतीय बैटरियों द्वारा चलायी गयी। यह इसे बहुत अधिक गति से घुमाती है लेकिन मोटर के बुरुशों को उलटी दिशा में नियंत्रित कर, गति घटायी जा सकती है। अधिक अच्छा है कि गति तेज रखी जाये और धुरी के सिरे पर उंगली के दबाव से इसे नियंत्रित किया जाये।

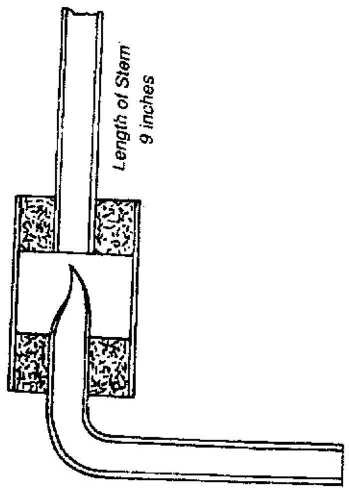
श्री चीसेस्टर बेल की गाने वाली जल प्रधार

इन प्रयोगों के लिये बहुत पतली नली (व्यास लगभग 1/75 इंच) उपयुक्त है। श्री बेल ने यह निम्न विधि से बनायी। काँच की नली का सिरा धौंकनी की लौ में (इसे चारों ओर घुमा कर) लगभग पूर्णतः बंद कर लिया। अब अचानक शक्तिशाली फूंक मारकर इसे थूथन का रूप दे दिया। इस विधि से अनेक थूथन बनाने पर कुछ उपयुक्त थूथन अवश्य प्राप्त हो जाते हैं। लार्ड रैले यह थूथन प्रायः काँच अथवा धातु की नलियों का छेद धातु की चादर से बंद कर, उसमें उपयुक्त माप का पतला छेद बनाकर प्राप्त करते हैं। पानी का उपयुक्त दबाव स्रोत को लगभग 15 फुट ऊपर

रखकर प्राप्त किया जाता है। पानी में धूल अथवा बुलबुले बिल्कुल नहीं होने चाहिये। यह पानी ऐसी पतली नली से प्रवाहित कर प्राप्त किया जाता है जिसमें फेल्ट या रुई (या अन्य कोई वस्तु जो पानी छानने का कार्य कर सके) ठूंस कर भरी हो। छनने और थूथन के बीच लगभग 1/8 इंच व्यास की एक गजद्ध लम्बी अच्छी इंडिया-रबर की नली होनी चाहिये। पानी सीधा नल से न ले कर किसी टंकी से लेना चाहिये। यदि टंकी उपलब्ध न हो तो पानी की बाल्टी जीने के ऊपर रखी जा सकती है, जिससे नली नीचे आ रही हो। यह स्रोत की ऊँचाई नियंत्रित करने में भी सहायक होगा।



चित्र - 66



चित्र - 67

उपकरण का शेष भाग तैयार करना बहुत सरल है। हवाई गेंदों के फटने से पहले इनसे इंडिया रबर की चादर का टुकड़ा काट लीजिये। इसे तान कर लगभग 1/2 इंच व्यास की नली के मुख पर बाँध लीजिये। धातु अथवा रबर की एक नली किसी भारी आधार में फंसा लीजिये। इस दशा में इसमें एक

पार्श्वनली जोड़ना आवश्यक होगा (जैसा चित्र 47 में दिखाया गया है)। दूसरा विकल्प यह है कि नली के दोनों सिरे खुले रखिये और इसे शिकंजे (क्लैंप) में फँसा लीजिये। यदि आवाज़ अनेक व्यक्तियों को सुनानी है तो इसमें दफ्ती का एक शंकु लगा लीजिये (चित्र 48)। यदि कोई धीमी आवाज़ प्रयोगकर्ता स्वयं ठीक से सुनना चाहता है तो वह नली के खुले सिरे से लगभग 1/2 इंच व्यास की इंडिया-रबर की नली अपने कान में ले जा सकता है। लेकिन इससे घड़ी की टिक-टिक जैसी ध्वनियाँ भी इतनी ऊँची आवाजें उत्पन्न करेंगी कि उसे लगभग बहरा कर देंगी।

बुलबुले और ईथर

ईथर का प्रयोग अत्यंत सावधानी पूर्वक करना चाहिये, क्योंकि कार्बन-बाई-सल्फाईड की तरह इसकी ज्वलनशीलता भी खतरनाक है। ईथर की बोतल कभी आग के पास नहीं लानी चाहिये। अगर इसकी अधिक मात्रा नीचे गिर जाये तो भारी वाष्प फर्श पर रेंग कर काफी दूरी पर भी आग पकड़ सकती है। किसी बर्तन में इसकी वाष्प भरने के लिये कुछ ईथर सोखते कागज़ पर डाल कर इसे बर्तन की तली तक ले जाईये। इसके लिये ईथर की बहुत कम मात्रा पर्याप्त है (उदाहरणत:, एक गैलन माप के बर्तन में वाईन का आधा गिलास भर)। सूखे स्थान में वाष्प बहुत शीघ्र लुप्त हो जायेगी। बुलबुले वाष्प पर सरलता से तैराये जा सकते हैं और पाँच दस सैकन्ड में हैन्डिलदार हल्के तार के छल्ले की सहायता से पुन: बाहर निकाले जा सकते हैं। छल्ले को साबुन के घोल से गीला कर लेना आवश्यक है, लेकिन इसमें फिल्म नहीं होनी चाहिये। आग के पास लाने पर (सुरक्षित दूरी पर) बुलबुला तुरन्त आग पकड़ लेता है। यदि अग्नि स्रोत मेज़ के पास नहीं है और जार से पर्याप्त ऊपर किसी आधार पर रखा है तो कोई

विशेष खतरा नहीं है। ईथर-वाष्प का ज्वलन प्रदर्शित करने के लिये वही चौड़ी नली, जिसका उपयोग मोमबत्ती बुझाने के लिये किया गया था, उपयुक्त होगी। ईथर की वाष्प में दस-पंद्रह संकेन्ड रखने पर बुलबुले का भार बढ़ जाता है और यह नाशपाती का आकार ग्रहण कर लेता है। बाहर निकाल लेने पर यह बहुत स्पष्ट दीखता है लेकिन इसके अंदर प्रविष्ट होने वाली और बाद में बाहर आने वाली ईथर-वाष्प की (केवल) परछायीं तीव्र प्रकाश में परदे पर देखी जा सकती है।

आन्तरिक बुलबुलों के प्रयोग

इन प्रयोगों में अच्छे घोल के बाद उपयुक्त नली का महत्व सर्वाधिक है। 'चर्च वारडेन'[63] इनमें उपयोगी नहीं है। इनके लिये 5/16 इंच व्यास के मुख वाली काँच की नली सर्वोत्तम है। यदि यह केवल समकोण पर मोड़ी गयी है तो प्राय: संघनित नमी नीचे बहकर बुलबुलों को नष्ट कर देगी। मैंने स्वयं इसके लिये एक विशिष्ट नली बनायी है जो चित्र 66 में अपनी सही माप में प्रदर्शित है। मेरे विचार से इसमें कोई अन्य सुधार आवश्यक नहीं है। जो लोग काँच का काम नहीं जानते वे कार्क की सहायता से चित्र 67 में प्रदर्शित ट्रैपयुक्त नली बना सकते हैं। यह भी लगभग उतनी ही कार्यकुशल है, यद्यपि देखने में उतनी अच्छी नहीं लगती।

यह प्रदर्शित करने के लिये कि बुलबुले टकराने पर परस्पर स्पर्श नहीं करते, कुछ सावधानियाँ आवश्यक हैं। बुलबुलों में छल्लों अथवा द्रव की भारी बूँद आदि के कारण कोई बहिर्वेशन (प्रोजेक्शन) नहीं होना चाहिये। इससे दोनों बुलबुले तुरन्त नष्ट हो जायेंगे। बुलबुलों की आघात सहने की क्षमता सीमित होती है, इसकी जानकारी अनुभव से हो जाती है।

बुलबुले को अपने आकार से छोटे छल्ले के आर-पार धकेलने वाले प्रयोग में बुलबुले का आकार बहुत बड़ा नहीं होना चाहिये (यद्यपि सामान्य अपेक्षा से काफी बड़ा बुलबुला भी छोटे छल्ले में से गुज़ारा जा सकता है)। इसे नीचे से ऊपर की ओर ले जाना इतना सरल नहीं है। इसका कारण वह भारी बूँद है जिसे पूर्णतः हटा पाना कठिन है।

बुलबुले के अंदर दूसरा बुलबुला बनाने के लिये पहले एक समतल छल्ले के नीचे औसत संतरे के माप का बुलबुला फूंकना चाहिये। तार का एक हल्का छल्ला इसके नीचे लटका लेना चाहिये। इससे यह कुछ विकृत हो जायेगा। इसके लिये पतले ऐल्यूमिनियम के छल्ले ठीक नहीं रहते। अतः कोई भारी धातु इस्तेमाल करना चाहिये या कोई छोटा भार छल्ले के हैन्डिल पर बाँध देना चाहिये। छल्ले का भार इतना होना चाहिये कि बुलबुले के किनारे लम्ब से 30 या 40 डिग्री का कोण बनायें (जैसा चित्र 56 में दर्शाया गया है)। अब नली का गीला सिरा बुलबुले में ऊपर की ओर से लगभग 1/2 इंच अंदर प्रविष्ट कर, इच्छित माप का दूसरा बुलबुला फूँका जा सकता है। नली को धीरे से ऊपर उठाने पर बुलबुला भी इसके साथ उठेगा और दोनों आंतरिक और बाहरी बुलबुले, नली से एक स्थान पर मिलेंगे। यह घातक होगा। इससे दोनों में वास्तविक संपर्क हो जायेगा और शक्तिशाली झटका भी इसे नष्ट कर देगा। नली तीव्र गति और न्यूनतम झटके के साथ बाहर निकालनी चाहिये। इसे बाहर लाने से पहले, इससे आंतरिक बुलबुलों को छूना चाहिये ताकि भारी बूँद नली में बह आये। दोनों बुलबुलों का अतिरिक्त द्रव एक साथ हटाया जा सकता है। यह सावधानी बरतनी चाहिये कि आंतरिक बुलबुला तार के किसी छल्ले के संपर्क में न आये। बाहर लाते समय, नली का संपर्क उस स्थान से बचाना चाहिये जहाँ दोनों बुलबुले बहुत

निकट हैं। निचला छल्ला हटाने के लिये इसे तिरछा कर लेना चाहिये और बहुत हल्के से खींचना चाहिये। ऐसा बहुत शीघ्रतापूर्वक नहीं करना चाहिये अन्यथा बुलबुले झटका सहन नहीं कर पायेंगे।

फ्लोरोसीन[64] या युरानीन[65] अपनी सुंदर प्रतिदीप्ति (फ्लोरोसेंस)[66] उस समय तक नहीं दिखाते जब तक इन पर सूरज या बिजली का प्रकाश लेंस या शीशे की सहायता से केन्द्रित नहीं किया जाता। इन रंगों की बहुत ही कम मात्रा आवश्यक है। कलम-चाकू की नोक के अंतिम 1/8 इंच पर रंग की जो मात्रा समा पाती है, शराब (वाइन) के एक गिलास घोल के लिये पर्याप्त है। अधिक मात्रा प्रतिदीप्ति कम कर देती है और यह बहुत शीघ्र समाप्त हो जाती है। उपयुक्त मात्रा कुछ छोटे प्रयोगों द्वारा निर्धारित की जा सकती है।

कोयले की गैस हवा या इनके मिश्रण से बुलबुले, अंग्रेजी के T अक्षर के आकार की विशिष्ट नली की सहायता से बनाये जा सकते हैं। T की एक भुजा इंडिया-रबर नली के छोटे टुकड़े द्वारा (आंतरिक व्यास 1/8 इंच) धौंकनी (ब्लो-पाईप) से तथा लम्बी भुजा फर्श तक लम्बी रबर नली से जोड़ लीजिये, जिसे अब किसी भी प्रकार की नली द्वारा गैस-स्रोत से जोड़ा जा सकता है। गैस-प्रवाह बायें हाथ से (यदि वह व्यस्त न हो) अथवा पैर से रबर दबा कर नियंत्रित किया जा सकता है। हवा तीसरी भुजा से फूँकी जा सकती है। इसे आवश्यकतानुसार (जब केवल गैस ही उपयोग करनी हो) जीभ से बंद रखा जा सकता है। नली के इस सिरे को एक ठंडी रेती की नोक की सहायता से कुछ फैला हुआ बनाना चाहिये।

यदि उपयुक्त ज-नली और इतनी लम्बी रबर-नली उपलब्ध न हो तो हवा और गैस के लिये एक ही नली का प्रयोग

किया जा सकता है। इससे प्रयोग में कुछ कठिनाई होती है, लेकिन तीन बुलबुलों वाले प्रयोग के अतिरिक्त शेष सब प्रयोग किये जा सकते हैं।

बुलबुले में नली सदा सबसे ऊँचे स्थान से प्रविष्ट करना चाहिये। बुलबुले की बगल से समतल प्रविष्टि से आंतरिक बुलबुला सदा टूट जायेगा। यदि आंतरिक बुलबुला गैस से फूंका गया है तो इसमें ऊपर उठने की प्रवृत्ति होगी। अतः नली को इस स्थिति में रखना होगा कि आंतरिक बुलबुला इसके सिरे पर रेंग कर बाहरी बुलबुले से उस स्थान पर न मिल सके, जहाँ नली प्रविष्ट की गयी है। कुछ प्रयोगों से आप इसका आशय समझ जायेंगे। आंतरिक बुलबुले को बाहर वाले के शीर्ष पर टिकाकर इसे आवर्धित किया जा सकता है। एक बार नली बाहर निकाल कर इसे तत्काल पुनः अंदर डाल कर, आंतरिक अथवा बाहरी बुलबुले में और हवा या गैस डालने का प्रयास सुरक्षित नहीं है। इससे नली के मुख पर तनी फिल्म संभवतः तीसरा बुलबुला निर्मित कर दे जिससे प्रयोग असफल हो जायेगा। बुलबुले से हवा खींचने पर फिल्म नली में खिंचकर नष्ट हो जायेगी। अब इससे हवा अथवा गैस किसी भय बिना अंदर फूँकी जा सकती है।

इस प्रयोग को हल्के छल्ले में धागा और कागज़ आदि बाँध कर करते समय, बाँया हाथ छल्ला पकड़ने में व्यस्त हो जायेगा। अतः गैस प्रवाह पैर से, अथवा किसी सहयोगी की सहायता से नियंत्रित करना होगा। हल्का छल्ला लगभग 2 इंच व्यास का होना चाहिये। जब आंतरिक बुलबुला छल्ले और कागज़ आदि को साथ लेकर ऊपर उठने लगे तो इन्हें सावधानी पूर्वक खींच कर बुलबुले से अलग किया जा सकता है। अब दोनों बुलबुले एक साथ हवा में ऊपर उठ सकेंगे। इसके लिये छल्ला

बहुत छोटा (केवल इतना बड़ा कि कागज़ इसमें टंग सके) होना चाहिये। बड़े छल्लों से यही प्रभाव इसे तिरछा और नली का मुख छल्ले के पास रख कर, इसके वास्तविक संपर्क में तीसरा बुलबुला फूँककर प्राप्त किया जा सकता है। यह छल्ले से बुलबुले के अलग होने की प्रक्रिया में सहायक होगा।

दो बुलबुलों के अंदर तीसरा बुलबुला फूँकना अधिक कठिन है। इसके लिए निम्न विधि प्रायः सफल रहती है। पहले बड़े संतरे के माप का एक बड़ा बुलबुला फूँक लीजिये। अब एक सीधे हैन्डिल वाले तार के छल्ले (व्यास लगभग 1 इंच) को घोल से गीलाकर बड़े छल्ले के आंतरिक किनारे की ओर इस प्रकार ले आईये कि यह बुलबुले में काफी अंदर तक पहुंच जाये। अब नली को साबुन के घोल में डुबाकर, बाहरी (नम्बर 1) बुलबुले में छोटे छल्ले के पास तक ले आईये और दूसरा बुलबुला (नम्बर 2) फूँकिये। ऐसा करते समय नली लगभग आंतरिक छल्ले से जुड़ी होनी चाहिये। अन्यथा, यदि छल्ले पर फिल्म हुई तो बुलबुला आकार में कुछ बढ़ते ही नष्ट हो जायेगा। नली को बाहर निकाल कर, इसे पुनः द्रव में डुबाईये और आंतरिक बुलबुले में डालिये। इस बात की सावधानी बरतिये कि दोनों बुलबुले किसी स्थान पर परस्पर मिल न पायें। अब गैस का एक बड़ा बुलबुला फूंकिये जो नंबर 2 के शीर्ष पर टिका हो। नम्बर 2 बुलबुला अब नम्बर 1 के शीर्ष पर किसी भय बिना टिक सकता है। नली को धीरे से नीचे झुकाकर नम्बर तीन से अलग कर लीजिये। नंबर 2 का भार और हल्का करने के लिये इसमें कुछ और गैस भरिये, इससे नम्बर 2 और नम्बर 3 के बीच दबाव भी कम होगा। अब छोटा छल्ला नम्बर 2 से हटाया जा सकता है। यदि इसमें कोई कठिनाई हो तो नम्बर 2 से नली बाहर खींच लीजिये और नम्बर 1 में कुछ हवा फूंककर इसे आवर्धित करिये। इससे यह प्रक्रिया सरल हो

जायेगी। अब नम्बर 1 से नली निकाल लीजिये। अब आंतरिक बुलबुले बाहर वाले के अंदर टिके हैं। जैसा मैं ऊपर कह चुका हूँ। आबद्ध छल्ले पर चौथा बुलबुला फूँकने पर नम्बर 1 अलग हो जायेगा और तीनों बुलबुले ऊपर तैर जायेंगे। अलग होते समय नम्बर 1 को तार के एक छोटे हल्के छल्ले पर स्थानान्तरित किया जा सकता है, जिससे नली आदि लटके हैं। यह ब्योरा बहुत जटिल प्रतीत होता है, लेकिन कुछ अभ्यास से प्रयोग निश्चितता से किया जा सकता है। प्रयोग में इसके वर्णन से कम समय लगेगा। वास्तव में यह इतना शीघ्र पूरा हो जायेगा और इतना सरल प्रतीत होगा कि इस बात का आभास भी नहीं होगा कि इसमें इतनी अधिक बातों का ध्यान रखना आवश्यक था।

बुलबुले और विद्युत

इन प्रयोगों को सफलता पूर्वक करना सर्वाधिक कठिन है। निम्नलिखित विवरण असफलता से बचने के लिये पर्याप्त होना चाहिये। दो तारों के सिरों पर छल्ले बना लीजिये, जिनमें तार के सीधे भाग की लम्बाई लगभग छः इंच हो। छल्ले के दूसरी ओर इसका एक इंच समकोण पर मोड़ लीजिये। एबोनाइट जैसे किसी विद्युत-अवरोधक में दो या तीन इंच की दूरी पर दो सीधे छेद बना लीजिये। तारों के मुड़े सिरे इन छेदों में टिका लीजिये। अब छल्लों को समतल और समान तल पर होना चाहिये और इन्हें परस्पर पास लाना या दूर ले जाना संभव होना चाहिये। इन्हें परस्पर कुछ इंच दूर रखकर दोनों में ऊपर या नीचे बुलबुले फूंक लीजिये। अब छल्लों को इतना पास लाइये कि बुलबुले केवल एक-दूसरे पर टिक भर सकें। परस्पर टकराने पर भी यह जुड़ते नहीं हैं, लेकिन इस स्थिति में ये अधिक देर स्थायी नहीं रहेंगे। इनके उत्तल (कॉनवेक्स) पृष्ठ हवा को सरलता से बाहर ढकेल सकते हैं।

एबोनाइट गर्म और पूर्णतः सूखी नहीं होनी चाहिये, क्योंकि इस दशा में यह विद्युतित होगी और कठिनाई उत्पन्न करेगी। यह गीली भी नहीं होनी चाहिये क्योंकि गीली ऐबोनाइट में विद्युत प्रवाहित होगी और लाख का कोई प्रभाव नहीं होगा। जो ऐबोनाइट किसी पिछले प्रयोग में इस्तेमाल की जा चुकी है उस पर फटने वाले बुलबुलों के कुछ छींटे अवश्य पड़े होंगे और यह प्रयोग के लिये उपयुक्त होगी। लाख सूखे फ्लैनल या लोम-चर्म में लपेटकर बाँह के नीचे तैयार रखनी चाहिये। यदि यह बहुत अधिक विद्युतित है तो बहुत अधिक शक्तिशाली सिद्ध होगी और बुलबुलों को नष्ट कर देगी। इसका हल्का विद्युतीकरण पर्याप्त है और यह बुलबुलों को तत्काल जोड़ देगी। लाख को आंतरिक और बाहरी बुलबुलों के जोड़े के पास लाने पर यह इन्हें आकर्षित करेगी, लेकिन आंतरिक बुलबुला इसके प्रभाव से बचा रहेगा। लाख को बुलबुले के बहुत समीप नहीं लाना चाहिये, अन्यथा आकर्षित होकर यह उसका स्पर्श कर लेगा और टूट जायेगा। गीला होने पर लाख का विद्युतीकरण अनिश्चित हो जाता है। आंतरिक और बाहरी बुलबुलों की भिन्नता प्रदर्शन के संबंध में, अत्याधिक दबाव, विद्युतीकरण अथवा देरी विशयक पिछले कथन, यहाँ भी लागू होंगे। मेरे अनुभवानुसार इस प्रयोग में बुलबुलों से बूँदें पूर्णतः हटा देना उचित नहीं है। इनका भार बुलबुलों को स्थायित्व प्रदान करता है। बाहरी बुलबुलों से यह हटायी जा सकती है और यदि ये बहुत बड़े नहीं हैं तो आंतरिक बुलबुलों को क्षतिग्रस्त किये बिना, इनका विद्युतीय एकीकरण बार-बार दोहराया जा सकता है। इस प्रकार मैंने एक बार आठ-नौ बुलबुलों को जोड़ा था। अंततः इसे संभालना कठिन हो गया और इसमें और अधिक बुलबुले नहीं जोड़े जा सके।

लालटेनों की व्यवस्था के संबंध में कुछ कहना मेरे विषय से बाहर है। लेकिन मैं कहना चाहूँगा कि यद्यपि छोटे बुलबुलों के

प्रयोग लेंस द्वारा परदे पर प्रक्षेपित किये जा सकते हैं, अंतिम व्याख्यान में वर्णित बुलबुलों की केवल छाया ही परदे पर देखी जा सकती है। इसके लिये प्रक्षेपण लेंस हटा लिया जाता है और केवल प्रकाश का ही इस्तेमाल किया जाता है। विद्युतीय-आर्क का प्रकाश चूने के प्रकाश से अधिक अच्छा रहता है। इसमें परछाइयाँ अधिक स्पष्ट और रंग अधिक चमकदार दीखते हैं। तेल का कोई भी लैंप उपयुक्त नहीं है क्योंकि इसकी लौ स्वयं एक गहरी परछायीं छोड़ती है।

ये निर्देश स्वयं में एक बहुत बड़ा अध्याय बन गये हैं। यह विस्तृत ब्यौरा मैंने अपने अनुभवानुसार प्रयोगों को जनता के समक्ष सफलतापूर्वक प्रस्तुत कर पाने के लिये आवश्यक समझ कर दिया है। मुझे आशा है कि यह उन लोगों के लिये विशेष उपयोगी होगा, जो प्रयोगों के अभ्यस्त नहीं हैं, लेकिन अपने संतोष के लिये इन्हें करना चाहते हैं। वह लोग जो प्रयोगकर्ता नहीं हैं, शायद यह महसूस करें कि बहुत अधिक विस्तृत होने के कारण निर्देश बोझिल हो गये हैं। लेकिन प्रयोग करते समय संभवत: पता चले कि पूर्वानुमानित कठिनाइयों के समाधान प्रस्तुत करने के मेरे पूरे प्रयास के बावजूद, कुछ और बातें बताना भी आवश्यक था ।

इस प्रकार के विस्तृत निर्देशों के साथ पुस्तक का अंत असामान्य प्रतीत होता है। लेकिन मेरे विचार से प्रस्तुत उदाहरण में यह नवीनता अच्छी है, विशेषत: इसलिये कि अधिकांश प्रयोगों में ऐसा कोई बड़ा उपकरण नहीं चाहिये जो प्राय: आवश्यक होते हैं।

व्याख्यात्मक टिप्पणियाँ

1. सर जॉन मिलय (1829-96) ब्रिटेन के एक चित्रकार थे। यह *'प्रिरैफेलाइट ब्रदरहुड'* नामक संस्था (रैफल-पूर्व भ्रातत्व) के एक संस्थापक सदस्य थे। यह संस्था उन चित्रकारों की प्रतिनिधि थी जो रैफेल-पूर्व के, इटली के एक विशिष्ट चित्रकार-वर्ग की भाँति, नैतिक एवं धार्मिक विषयों पर चित्र बनाते थे। सन 1860 के बाद के दशक में पूर्व-रैफेलवाद त्याग कर, मिलय ने अधिक जनप्रिय विषयों पर चित्र बनाये (*बबिल्स* 1886)।

2. एट्रूइयाई लोग मध्य इटली में स्थित एट्रूइया (वर्तमान टस्कैनी) के प्राचीन निवासी थे। इनका मूल स्थान कहाँ था, यह अब भी एक रहस्य है। इनके कला-अवशेषों तथा मकबरों के भित्तिचित्रों से अनुमान लगाया गया है कि ये एशिया माईनर (मध्य-एशिया-स्थित, काले और भूमध्य सागर के बीच का वह भाग है जिसमें अधिकांश एशियाई तुर्कस्तान सम्मिलित है) से आये आक्रमणकारी थे। लेकिन यह भी संभव है उनके कला-अवशेषों में पूर्वी विशिष्टतायें,व्यापक यात्राओं के कारण हों। एट्रूइयाई भाषा के अनेक अंकित अभिलेख उपलब्ध हैं, लेकिन उनका अनुवाद अभी नहीं हुआ है।

3. लूव्र फ्रांस का राष्ट्रीय संग्रहालय है जिसमें फ्रांसिसी राजाओं के कला-संग्रह एकत्रित हैं। पहले यह पेरिस में टूलेरी के राजकीय महल में थे। सन् 1793 में यह जनता के लिये खोल दिया गया।

4. यह प्रयोग किसी भी उपयुक्त माप के बुरुश से (प्लास्टिक

शूकों के दाढ़ी-वाले बुरुश से भी) किया जा सकता है, जो शूकों अथवा बालों से निर्मित हो।

5. 'इंडिया-रबर' शब्द शायद भारतीय मूल के वृक्ष *फिस्कस एलास्टिकस* के वनस्पति दूध से निर्मित रबर के लिये गढ़ा गया था।प्राकृतिक रबर के अन्य स्रोत भी उपलब्ध हैं। इनमें हैं : ब्राजील के रबर वृक्ष, *हेविया गुइआंसिस*, *हेविया ब्रैसिलेन्सिस* (पैरारबर) और *हेविया पासीफ्लोरा* आदि। इनके वनस्पति दूध के (अम्लों द्वारा) स्कंदन से रबर प्राप्त की जाती है और इसे दबाकर रबर की चादरें बना ली जाती हैं। रबर को गंधक के साथ गर्म करने से यह अधिक स्थायी हो जाती है, इस प्रक्रिया को वल्कनीकरण कहते हैं।

6. साईफन किसी ऐसी नली या प्रवाह-मार्ग को कहते हैं, जिसमें मोड़कर असमान लम्बाई की दो भुजाऐं बना ली जाती हैं। इसका उपयोग किसी द्रव को ऊपरी धरातल से निचले धरातल पर स्थानान्तरित करने के लिये किया जाता है।

7. आउंस भार की एक इकाई है। ट्रॉय भारों में यह 1/12 पाउंड और ऐवॉयडूपाय भारों में यह 1/16 पाउंड के बराबर होता है (28.34953 ग्राम)।

8. पैराफीन या कड़े मोम का उपयोग मोमबत्तियाँ, मोमिया-कागज आदि बनाने के लिये किया जाता है। यह अपरिष्कृत तेल के मुख्य अंश, जैसे पेट्रोल, मिट्टी का तेल, गैसोलीन और स्नेहक तेल आदि अलग कर लेने के बाद अवशिष्ट पदार्थ से प्राप्त होता है। इस अवशेष को शून्य-आसवन द्वारा प्रभाजित करने पर हल्के, माध्यमिक और भारी स्नेहक

तेल, पैराफीन मोम और डामर उपलब्ध होते हैं। पैराफीन शब्द इस बात का द्योतक है कि यह पैराफीनों अथवा संतृप्त हाईड्रोकार्बनों से बना है।

9. लेखक उस पैराफीन मोम का उल्लेख कर रहा है जो ऊँचे आणविक भारों वाली पैराफीनों से निर्मित है।

10. सिम्पिल साईमन एक प्रसिद्ध छंद-बंद्ध कविता का चरित्र है। लेखक उसे 'हमारा प्रिय मित्र' कहकर इसलिये संबोधित कर रहा है क्योंकि उसका विचार है कि उसके सब विद्यार्थी बचपन से ही इस चरित्र से परिचित हैं।

11. एडवर्ड लीअर (1812–88) ब्रिटेन के एक चित्रकार और कवि थे। उन्होंने बच्चों के लिये लिखी गयी अपनी चार 'द बुक ऑफ नॉनसेन्स' नाम पुस्तकों में विलक्षण शाब्दिक नवीनता का परिचय दिया।

12. कोषिकत्व से लेखक का आशय है : कोषिका क्रिया। यह शब्द उस प्रतिभास के लिये प्रयुक्त होता है, जो द्रव अपनी सीमाओं पर असंतुलित अंतरआणविक आकर्षण के कारण प्रदर्शित करते हैं। इसके उदाहरण हैं : पतली नलियों में द्रवों के धरातल का ऊपर उठ आना, या नीचे गिरना तथा फिल्मों, बूंदों और बुलबुलों का निर्मित होना।

13. अतिपरवलय (हाईपरबोला) शांकव परिच्छेदन से निर्मित होने वाला एक वक्र अथवा वक्रों का जोड़ा है। इसका कार्तिकीय समीकरण ग²ॅ²ल²ॅ² त्र1 है। जिसमें और इ स्थिरांक हैं। इसके दो भागों के बीच एक सम्मिलित अक्ष होता है। अक्ष से इनकी न्यूनतम दूरी 2 होती है।

14. 'क्विकसिल्वर' धातुयी तत्त्व पारे का एक अन्य नाम है।

अरस्तु ने पारे को 'क्विकसिल्वर' नाम दिया और ग्रीस के डाक्टर डिस्कोराइड्स ने इसे 'सिल्वर वाटर' (चांदी का पानी) कहा। इससे पारे के लैटिन नाम *हाइड्रागाइरस* की उत्पत्ति हुई। साहित्य में पारा 'लिविंग सिल्वर'(जीवित चांदी) भी कहलाता है। पारा ही केवल एक ऐसा धातु है जो कमरे के सामान्य तापक्रम पर द्रव होता है।

15. क्रिसमस वृक्ष एक सदाहरा वृक्ष है। क्रिसमस के अवसर पर इसे जेवरों और प्रकाश स्रोतों से सजाया जाता है और यह सजावट की मुख्य वस्तु बन जाता है।

16. ग्रेन अधिकांश तोल के पैमानों में सबसे छोटी इकाई है। आरंभ में इसका भार मोटे गेंहू के दाने के भार के आधार पर निर्धारित हुआ था। अमरीकी और ब्रिटिश पैमानों में, उदाहरणत: एवायरडूपौयस, ट्राय और ऐपोथाकेरीज भार प्रणालियों में, इसका भार समान है। ऐवौयरडुपौयस पैमाने में एक आउंस में 437.5 ग्रेन तथा ट्राय और ऐपोथाकेरी पैमाने एक आउंस में 480 ग्रेन होते हैं।

17. सामान्यत: एल्कोहॉल का आशय इथाईल एल्कोहॉल (C_2H_5OH) से होता है। यह एक रंगहीन, वाष्पशील और ज्वलनशील द्रव है। इसका क्वथनांक 78.1 डिग्री सेन्टीग्रेड है। रसायन-शास्त्र में एल्कोहॉल उन यौगिकों के वर्ग को कहते हैं जिनका आम सूत्र R-OH हैं, जिसमें R कोई ऐल्काइल समूह है।

18. अंगूरी मदिरा (वाईन) एक ऐल्कोहॉल युक्त पेय है जो किण्वनित अंगूर के रस से बनता है। इसका स्वाद रस की शर्करा की किण्वनित मात्रा पर निर्भर करता है। तदानुसार यह सूखी, माध्यमिक अथवा मीठी हो सकती है। भोजन-मेज़ों

की सामान्य वाइन में 9-13 प्रतिशत ऐल्कोहॉल होता है।

19. पोर्ट, ओपोर्टो (पुर्तगाल) की सांद्रीकृत, प्राय: मीठी, वाई को कहते हैं। इसमें 16-23 प्रतिशत ऐल्कोहॉल होता है।

20. वाष्पीकरण वह प्रक्रिया है जिससे क्वथनांक से नीचे भी द्रव का वाष्पीकरण होता रहता है।

21. *प्रावर्बस* एक प्राचीन धर्म-पुस्तिका (*ओल्ड टेस्टामेन्ट*) है। इसमें नैतिक एवं धार्मिक नीतिवचन संग्रहित हैं। परंपरा से ये सॉलोमन के कथन माने जाते हैं। इनका मुख्य विषय है ईश्वर के भय से उत्पन्न बुद्धिमत्ता की पहचान।

22. ईथर का आशय इथाइल ईथर $(C_2H_5OC_2H_5)$ से है। यह अत्याधिक वाष्पशील और ज्वलनशील द्रव है। इसका क्वथनांक 34.5^oC है। हवा के साथ यह विस्फोटक मिश्रण निर्मित करता हैं इसे सावधानी पूर्वक इस्तेमाल करना चाहिये। यह एक घोलक और श्वसनीय संवेदनहारी के रूप में प्रयुक्त होता है।

23. उत्प्लावकता, द्रवों में कोई वस्तु डुबाने पर उनकी उछाल प्रक्रिया को कहते हैं। यह उछाल वस्तु द्वारा विस्थापित द्रव के भार के समतुल्य होता है (आर्किमिडीज का सिद्धान्त)। अत: पानी में तोली जाने पर वस्तु कम भार प्रदर्शित करती है और भार की यह प्रकट कमी, विस्थापित पानी के भार के बराबर होती है।

24. 'चिकनाई' शब्द का प्रयोग प्राय: चर्बीयुक्त अथवा तेलीय पदार्थों के लिये किया जाता है।

25. बेन्ज़ीन अपरिष्कृत 'हल्के तेल' का आसवित अंश है। यह तेल स्वयं कोलतार से 170^oC तापक्रम तक प्राप्त होता है।

इसे 'सालवेन्ट नैफथा' भी कहते हैं। इसमें मुख्यत: ज़ाईलीन, क्यूमीन आदि विद्यमान होते हैं।

26. कपूर सफ़ेद रंग का रवेदार ठोस पदार्थ है। इसमें एक विशिष्ट गंध होती है। यह 178°C पर पिघलता है। यह कपूर के वृक्ष से प्राप्त होता है।

27. लाइकोपोडियम पीले रंग का एक चूर्ण है, जो क्लब मौस (*लाइकोपोडियम क्लैवेटम*) नामक एक काई के फल से प्राप्त होता है। यह आतिशबाजी में प्रयुक्त होता है।

28. एक पाइंट 0.5682 लीटर के बराबर होता है।

29. लेखक लन्दन के एक प्रसिद्ध अखबार का उल्लेख कर रहा है लेकिन किसी भी अखबार से काम चल सकता है।

30. अखरोट (वाल-नट) आलूचे के माप का हरे रंग का फल होता है। इसका वृक्ष उत्तरी शीतोष्ण कटिबंध का *जुगलियस* वंश (जीनस) का 17 प्रजातियों वाला एक पेड़ है।

31. बनात (बेज) प्राय: हरे रंग का मुलायम फेल्ट से मिलता-जुलता कपड़ा होता है। यह मुख्यत: बिलयर्ड मेज़ों के ऊपर बिछाने के काम आता है।

32. बेलन वह पृष्ठ अथवा ठोस है जो दो समानान्तर तलों से आबद्ध होता है। यह उस बंद वक्र के अनुरेखण से बनता है जो इन तलों पर लम्ब है।

33. गोलक (स्फियर) एक ठोस ज्यामितीय आकार है, जो किसी अर्ध-वृत्त को अपने व्यास के चारों ओर घुमाने से बनता है। गोलक का सामान्य उदाहरण गेंद है।

34. रूलेट एक वक्र है जो किसी बिन्दु के रेखा-पथ द्वारा इसे

बंद वक्र पर (किसी निश्चित वक्रतानुसार खिसकाये बिना)लुढ़काने पर बनता है।

35. किसी भी चपटे गोल आधार वाले बत्तीदान से काम चल जायेगा।

36. हमारे देश में प्रत्येक घर अथवा जनभवन में कालीन होना आवश्यक नहीं है।

37. परवलय (पैराबोला) शंकु-विच्छेदन से प्राप्य एक वक्र है। एक निश्चित रेख़ा के दोनों ओर इसकी दूरी समान होती है। इसका कार्तिकीय समीकरण $Y=4ax$ है। यह X अक्ष के चारों ओर सममित होता है और इसे मूल पर काटता है।

38. कार्बन का बाईसल्फाईड, जो प्राय: कार्बन-डाई-सल्फाइड कहलाता है, एक रंगहीन तथा ज्वलनशील द्रव है। इसका क्वथनांक 46°C है। यह ज़हरीला होता है और इसका अधिक श्वसन घातक हो सकता है।

39. शिलिंग तांबे और निकिल के मिश्रित धातु से बना ब्रिटेन का एक सिक्का है जिसका मूल्य पाउंड के बीसवें भाग के बराबर होता है।

40. हमारे क्षेत्र में मकड़ियों की सैकड़ों सुन्दर और दिलचस्प प्रजातियाँ मिलती हैं। इनमें बहुलता से मिलने वाली तथा विशिष्ट हैं : गोलक बुनकर, रेखा-जाल बुनकर, घोंसला बुनकर, शिकारी मकड़ियाँ, उछलने वाली मकड़ियाँ और फर्श-दरवाज़ों की मकड़ियाँ। मकड़ियाँ सर्वगत होती हैं। उनके आकारों, रूपों और स्वभावों में बहुत भिन्नता होती है।

41. मकड़ियों की विशिष्टता है इनकी कातने की क्षमता। सिल्क उनके जीवन का एक अंग है। इनके जाले सिल्क के बने होते हैं। मकड़ियों में कातने वाले अंग और सिल्क-ग्रंथियाँ जन्मजात होती हैं। कातने वाले अंग शरीरके पिछले भाग में चार या छः चूंची जैसी तंतु-ग्रंथियों के रूप में होते हैं। भिन्न मकड़ियों की कातने की क्षमता में बहुत अंतर होता है।

42. क्वार्ट्ज अत्यंत बहुलता से प्राप्य एक खनिज है- सिलिकॉन डाइऑक्साईड (SiO_2)। यह विविध प्रकार का होता है। जिनके रंग और चमक में अंतर होता है और यह ढ़ेलों अथवा रवों के रूप में मिलता है।

43. रेंड़ी का तेल रंगहीन से फीके पीले तक भिन्न रंगों वाला एक लसीला द्रव है। यह रेंड़ी की फलियों से प्राप्त होता है। इसका उपयोग स्नेहक तथा दस्तावर औषधि के रूप में किया जाता है।

44. जॉन डब्लू0 एस0 रैले (1842-1919) ब्रिटेन के एक भौतिक-विज्ञानी थे। सन् 1904 में उन्हें सर विलियम रामजे के साथ आरगन की खोज के लिये नोबेल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

45. संगीत बक्स ऐसा बक्स या डब्बा होता है जिसमें यांत्रिक ढंग से संगीत उत्पन्न किया जाता है।

46. कोयले की गैस में मुख्यत: हाइड्रोजन (50 प्रतिशत), मीथेन (30 प्रतिशत) तथा कुछ कार्बन-डाई-ऑक्साइड (8 प्रतिशत) और अन्य गैसें होती हैं। यह कोयले के नष्टकारक आसवन से प्राप्त होती है। इस प्रक्रिया में कोयले को 1000^0 सेंटीग्रेड तापक्रम तक गर्म किया जाता है।

47. विद्युत-संचालक ऐसे पदार्थ या विधि को कहते है, जिसमें विद्युत प्रवाहितकी जा सकती है। धातु सर्वोतम विद्युत-सचालक होते है। इनमें विद्युत प्रवहन विद्युत शेत्र के प्रभाव में मुक्त एलेक्ट्रानों के एक ही दिशा में प्रवाहित होने के कारण होता है।

48. सर आइज़ैक न्यूटन (1642-1727) : ब्रिटेन के भौतिक-विज्ञानी एवम् गणितज्ञ, मानव इतिहास के सबसे बड़े वैज्ञानिकों में से एक हैं। न्यूटन ने अपना बहुत सा मौलिक कार्य स्नातक होने के तुरन्त बाद अपने माता-पिता के निवास स्थान-लिंकनशायर में किया। एक अन्य महान भौतिक-विज्ञानी एल्बर्ट आइंस्टाइन ने न्यूटन के संबंध में कहा : ''उनके एक व्यक्तित्व में महान प्रयोगकर्ता, परिकल्पनावादी, यांत्रिक और कलाकार के व्यक्तित्वों का समन्वय था।'' न्यूटन की पहली महत्वपूर्ण खोज थी गुरूत्वाकर्षण का नियम। गति-संबंधी नियमों की उनकी खोज से न्यूटनीय बल-विज्ञान की नींव पड़ी। उन्होंने (लाईबनीज़ ने भी) स्वतंत्र रूप से विभेदी कैलकुलस की खोज की। न्यूटन ने प्रकाश-विज्ञान के क्षेत्र में भी महत्वपूर्ण खोजें कीं। उनके मुख्य प्रकाशन थे *फिलासफी नेचुरेलिस मैथेमेटिका* (1686-87) तथा *ऑपटिक्स* (1704)।

49. पिपेट : एक चिन्हित पतली नली, जो द्रवों का आयतन मापने तथा उन्हें एक बर्तन से दूसरे में स्थानान्तिरत करने के लिये प्रयुक्त होती है।

50. ऐनीलीन रंग : ऐनीलीन से व्युत्पन्न रंगों का एक वर्ग है, जो प्राय: कोलतार से मिलते हैं।

51. सिरका (विनेगर) ऐसेटिक अम्ल का तनु घोल होता है।

यह विविध खट्टी मदिराओं (जैसे वाईन, बियर आदि) तथा अन्य एलकोहॉलीय द्रवों से निर्मित किया जाता है। इसका उपयोग सलाद के मसाले के रूप में और खाद्य पदार्थों के परिरक्षण के लिये होता है।

52. रोजानिलीन, ऐनीलीन तथा ऑरथो-टॉलयूडीन से व्युत्पन्न एक लाल रंग का रसायन है, और फुश्चिन का अवयव है। इसका रासायनिक सूत्र $C_{20}H_{20}N_3Cl$ है।

53. सलाद तेल : वे तेल जो सलाद के मसाले के रूप में प्रयुक्त होते हैं, उदाहरणतः जैतून, तिल, सूरजमुखी तथा मक्का के वनस्पति-तेल।

54. अर्धपेनी : ब्रिटेन का ब्रांज का एक सिक्का जिसका मूल्य पाउंड का दो-सौवाँ भाग होता है।

55. तीनपेनी : तांबे और निकल के मिश्रित धातु से बना ब्रिटेन का एक सिक्का, जिसका मूल्य शिलिंग का चौथा भाग होता है।

56. कैस्टिले साबुन : एक विशेष प्रकार का साबुन जो जैतून के तेल और सोडियम हाइड्राक्साइड से बनता है।

57. ग्लिसरीन, जिसे ग्लिसरॉल भी कहते हैं, एक विस्कासी द्रव है, जिसका उपयोग भोजन,सौंदर्य-प्रसाधनों और औषधियों में होता है।

58. सोडा का ओलियेट, ओलिक अम्ल का एक लवण है। यह ओलिक अम्ल पर सोडियम हाइड्रॉक्साइड की क्रिया से बनता है। ओलिक-अम्ल पानी में अघुलनशील, असंतृप्त

द्रव-अम्ल है।

59. द्रव-अमोनिया का व्यापक उपयोग, घोलक के रूप में, रासायनिक संश्लेषणों में तथा रेफ्रिजरेटरों में होता है। इसका क्वथनांक-33.42° सेंटीग्रेड है और इसका भंडारण लोहे के बेलनों में किया जाता है।

60. गैज़ोजीन एक उपकरण है जो द्रव को किसी गैस से संसिक्त करने के लिये प्रयुक्त होता है। इसका इस्तेमाल विशेष तौर पर पानी को कार्बन-डाई-आक्साइड से संसिक्त करने के लिये होता है। इसे गैसोजीन भी कहते हैं।

61. लीडेन जार, विद्युतीय आवेश के भंडारण की एक विधि है। यह काँच का एक ऐसा जार होता है, जिस पर बाहर और अंदर लगभग दो-तिहाई ऊँचाई तक पर्त चढ़ी होती है। इसका नाम नीदरलैंड के लीडेन नगर पर पड़ा है, जहां इसका आविष्कार हुआ था।

62. स्वर्णपत्र विद्युतदर्शी (एलेक्ट्रोस्कोप) : एक स्थिर-वैद्युत उपकरण है, जो विद्युत आवेश अथवा विकिरणों का पता लगाता है। स्वर्ण-पत्र-विद्युतदर्शी में विद्युत आवेश दो टंगे स्वर्ण-पत्रों का विक्षेपण (डिफ्लेक्शन) बढ़ा देता है।

63. चर्च-वारडेन का आशय यहाँ मिट्टी की ऐसी लम्बी नली से है जो धूम्रपान के लिये प्रयुक्त होती है।

64. फ्लोरोसीन एक (पानी मे) अघुलनशील चूर्ण है। क्षारों में घुल कर यह मिश्रित लाल-भूरे रंग का घोल बनाता है,

जो तनुकरण पर पीले-हरे रंग की प्रतिदीप्ति (फ्लोरोसेंस) प्रदर्शित करता है। यह थैलिक एनहाइड्राइड (1 अणु) को रिसॉर्सिनॉल (2 अणु) के साथ 200° सेंटीग्रेड पर गर्म करने से बनता है।

65. यूरानीन फ्लोरोसीन का सोडियम लवण है।

66. प्रतिदीप्ति (फ्लोरोसेन्ट): कुछ पदार्थो का यह विशेष गुण, जिसमें वह प्रकाश का कोई विशिष्ट तरंग-दैर्ध्य (वेव लेंग्थ: स्पेक्ट्रम. में विशिष्ट रंगों के कारण होती है) अंतर्लीन कर, कोई अन्य तरंग-दैर्ध्य उत्सर्जित करते हैं। स्फुरप्रतिदीप्ति (फ़ॉस्फोरोसेन्स) से भिन्न, इस प्रतिभास में मूल प्रकाश-स्रोत के हटते ही परिवर्तित तरंग-दैर्ध्य का उत्सर्जन समाप्त हो जाता है।