

Pikaõlalised analüütilised kaalud Tartu Ülikooli muuseumis

TULLIO ILOMETS

Tartu Ülikooli muuseumi kaalude kollektsioonis leidub mitmeid analüütiliste kaalude ajaloo seisukohast huvipakkuvaid pikaõlalisi analüütilisi täpsuskaale (*langarmige Präzisionswaage, long-beam precision balance*). Kõige vanem nende hulgas on ilmselt traditsiooni kohaselt Carl Schmidt¹ kaaluks nimetatud kokkupandav analüütiline kaal, mille valmistamisaeg paigutub 19. sajandi esimesse poolde.²

Teine, oletatavasti noorem pikaõlaline, imposantse väljanägemisega suur analüütiline kaal oli kunagi keemiaosakonna õppejõudude hulgas tuntud kui „kilogrammikaal” ja kuulub samuti 19. sajandisse.

Rahvusvaheliselt tunnustatud kaalude ajaloo ja analüütiliste täpsuskaalude uurija Hans Richard Jenemann (1920–1996) paigutab pikaõlaliste täpsuskaalude konstrueerimise, täiustamise ja kasutamise ajavahemikku 1775–1875.³

¹ Carl Ernst Heinrich Apollon Schmidt (1822–1894, ülikoolis 1847–1892), keemiaprofessor. Vello Past, Tullio Ilomets, Hain Tankler. *Chemistry and Pharmacy at the University of Tartu/Dorpat/Yurjev 1802–1918* (Tartu 2009).

² Vt foto 1. Ajaloolisest proovikaalust (ÜAM 899:6/Aj), mida samuti on seotud professor Carl Schmidt nimega, oli juttu eelmises numbris, vt: Tullio Ilomets, „Ajalooline proovikaal Tartu Ülikooli ajaloo muuseumis”, *Teadusinnovatsiooni tee praktikasse. Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi* XLI (Tartu: TÜ ajaloo muuseum, 2013), 231–258.

³ Hans Richard Jenemann, „Die Zeit der langarmigen Präzisionswaage. The Age of Long-Beam Precision Balance“, *Die Waage des Chemikers. The Chemist's Balance* (Frankfurt a Main: DECHEMA, 1997), 38–48.

Carl Schmidt'i pikaõlaline analüütiline kaal

Kaalu saabumine muuseumi

Kaalu andis 1982. aastal Tartu Riikliku Ülikooli ajaloo muuseumile üle ülikooli anorgaanilise keemia kateedri dotsent Lembit Suit (1921–2006).⁴ Kaalu praegune inventarinumber on ÜAM 899:7 /Aj.

Kaal on viieks osaks lahti võetuna paigutatav pruuni mahagonipuust kasti lukustatavasse sahtlisse. Sahtlis on kaalu igale detailile ette nähtud kindel asukoht. Sahtlis on, ilmselt vihtide jaoks (?), väikene eraldi kinni käiv luunupuga sahtel. Kaalul puuduvad andmed nii valmistaja kui ka valmistamise aasta kohta. Samuti puudub ülikooli inventarinumber. Kaal on hästi säilinud ja komplektne. Kaal on valmistatud kullavärvi messingist ning on tehniliselt teostuselt väga viimistletud ja täpne.

Kaalukasti seisund on hea, v.a kasti peal olev kasti pikkuse ulatusega kinnine pragu.

Kaalukasti kirjeldus

Kaalukasti (*Kasten, case*) suurus on 51,5 × 13,5 × 8,5 cm. Kasti esiküljel vasakul ja paremal pool on kaalu loodi seadmiseks kõrguse reguleerimise võimalusega messingist jalad, mis on kinnitatud kolmnurkse messingplaadi abil kasti põhja külge. Keermestatud jala pikkus on 4,5 cm ja läbimõõt 0,6 cm. Kolmandaks tugipunktiks on kasti põhja alla keskele taha äärde kinnitatud poolkerakujuline 1,6 cm kõrgune treitud puunupp. Kaalul endal puudub lood. Kasti peal keskel, tagumisest äärest 2,5 cm kaugusel paikneb 3,0 × 3,0 × 0,6 cm suurune messingplaat, mille keskel on 1,1 cm läbimõõduga keermestatud ava, kuhu kinnitub kaalu tugisammas.

Sahtli mõõtmed on 49,3 × 12,0 × 6,5 cm. Esikülje paksus on 1,2 cm. Sahtel on paremal pool jagatud vaheseintega kolmeks väikeseks osaks. Kaks pealmist (6,2 × 6,2 cm) asuvad kõrvuti ja nende all väikene (6,2 cm laiune) luunupuga sahtel. Ülejäänus on igale kaalu detailile ette nähtud vastav tugialus ja kinnitusriiv. Sahtli esiküljel ülal on metallist lukk ja ees keskel luuümbrisega lukuauk,⁵ võti puudub.

⁴ Ilomets, „Ajalooline proovikaal”, 231, 233.

⁵ Vt Foto 1, foto 2.

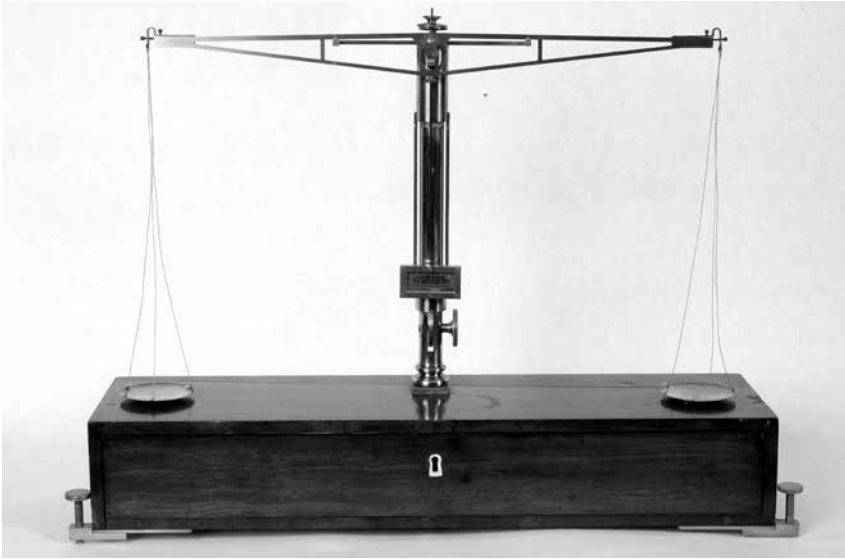


Foto 1. Carl Schmidti kaal kaalukastil (kõik selle artikli fotod: A. Tennus)

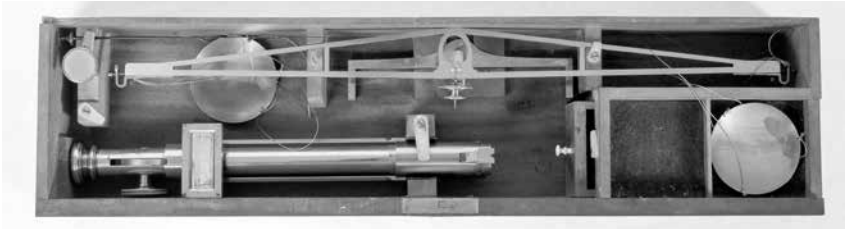


Foto 2. Lahtivõetud kaal kaalu sahtlis

Kaalu kirjeldus

Kaal koosneb kahest põhisõlmest:

1. Kaalu samba. Samba põhiosa on messingsilinder, millele kinnitub pööratav ekstsentrik, kaaluosuti skaala ning samba ülasas konsool kahe ümmarguse ahhaatplaadiga. Samba liikuv osa koosneb kahest, omavahel kolme vardaga ühendatud, samba ümber paiknevast silindrist. Ülemise silindri üleval äärel konsooliga kohakuti on sisselõigetega raam ning sellega risti olev kaheharuline kaalukangi arretiir.
2. Kaalukang, mille kesksaigas üleval äärel on seade kaalu tundlikkuse reguleerimiseks. Selle all terava servaga kandepriisma



Foto 3. Kaalu samba alumine osa

ning all äärel kaalu osuti. Kaaluõlgade otstes on kaalukausside riputusniitide kinnituskohad. Kaalukaussid jäävad kaalu kasti paigutamisel kaalukangi külge.

Kaalu samba kirjeldus

Kaalukangi toetav samm (Säule, column) on seest täis, 1,9 cm läbimõõduga ja 26,8 cm pikkune messingsilinder, mille alumine laiem osa (läbimõõt 3,0 cm) toetub samba all 0,6 cm pikkuse keermestatud poldi kaudu kinnitatuna vastu neljakandilist messingplaati. Samba alumises osas on sammast läbiv 3,5 cm pikkune lõhe kaalu arreteerimismehha-

nismi üles-alla liigutamiseks vajaliku 0,4 cm paksuse ekstsentriku⁶ tarvis, mille pöördetelg asub kinnitusplaadist 4,5 cm kõrgusel ning mille parempoolses väljaulatuvas otsas on 3,0 cm läbimõõduga pöörämisketas (analüütiliste kaalude arreteerimine tähendab kaalu täiendavat tasakaalustamist, näiteks kui kaalukaussil juba on midagi ja tahetakse teada lisatava netokaalu – *toim*). Alusplaadist 7,4 cm kõrgusel kinnitub sambale neljakandiline skaala alus, mõõtmetega 4,8 × 2,9 × 0,7 cm, mille esikülje raami laius on 0,5 cm. Skaalal on keskmisest nulljoonest nii paremale kui vasakule poole 10 jaotust.⁷ Samba ülaosas paikneb samba külge kinnitatud 2,2 cm pikkuselt väljaulatuv, 1,7 cm laiune ja 0,6 cm paksune, ülevalt U-kujuline, kahe ümmarguse, 0,5 cm läbimõõduga ahhaatplaadi kinnitussüsteem-konsool (*Konsole, console*). Ahhaatplaadid on kinnitatud U-kujulise osa mõlema haru otstele. Neile toetub kaalumisel kaaluõlaga risti oleva terasprisma terav kandeserv (*Schneide, knife-edge*).⁸

⁶ Ekstsentriku võttis esimest korda tarvitusele Berliini peenmehhaanik Nathan Mendelssohn (vt Pistor).

⁷ Vt foto 3.

⁸ Vt foto 4.

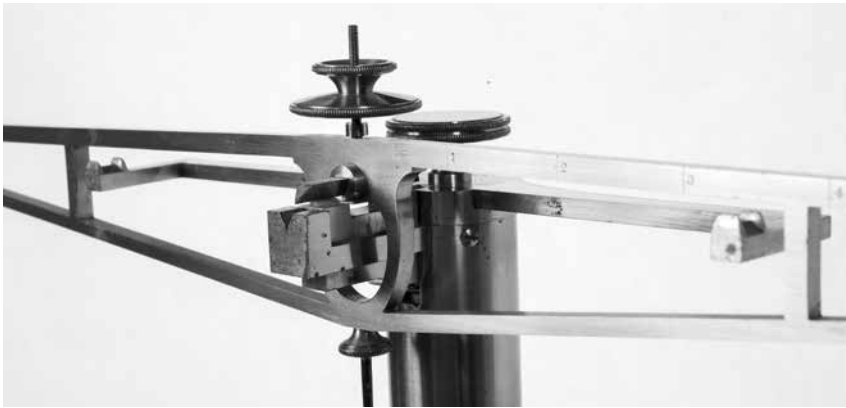


Foto 4. Kaalukangi paigutus kaalu sambal

Kaalu arreteerimiseks on samba välisküljel kahest, tihedalt samba ümber liikuvast, omavahel kolme varda abil ühendatud silindrist koosnev, ekstsentrliku abil üles liigutatav mehhanism. Kaalukangi kaalumise asendisse viimiseks peab liikuva osa ülemise osa sees olema sambale toetuv spiraalvedru, sest ainult ekstsentrliku abil seda teha ei saa. Üles-alla käigu pikkus on 0,5 cm.

Alumine silinder, mille välimine läbimõõt on 2,5 cm ja pikkus 1,7 cm, on alumise äärega vastu liikuma panevat ekstsentrliku ketast. Ülemine silinder, mille välimine läbimõõt on 2,5 cm ja pikkus 6,0 cm, on ühendatud alumise silindriga kolme trapetsikujulise läbilõikega 14,5 cm pikkuse messingvardaga. Varraste sambapoolse külje laius on 0,5 cm. Eest vaadates asuvad kaks varrast teine teisel pool samast ja kolmas samba tagaküljel. Ülemise silindri peale on kinnitatud etteulatuv 3,0 cm pikkune ahhaatplaatide alust ümbritsev raam, mille esi- ja tagaosas on terasprisma teravat serva mahutavad 0,5 cm pikkused sisselõiked. Nendesse jäävad kaalu arreteerimise korral kandma prisma otstest 0,5 cm pikkused lõigud, mis ei puutu kaalumise ajal kokku ahhaatplaatidega.⁹ Ahhaatplaatide alusega samale kõrgusele on liikuva silindri ülemisele kinnisele otsale kinnitatud 2,3 cm läbimõõduga kettakujulise peaga kruviga kaalukangi arretiir.¹⁰ 12 cm pika kaheharulise (U-kujulise) arretiiri mõlema etteulatava haru esiosa peal on süvend, mille laius vastab kaaluõla ülemise raami pak-

⁹ Vt foto 4.

¹⁰ Vt foto 4.

susele. Arretiir haarab kaalukangi mõlemalt poolt prismat süvenditesse ja tõstab prisma ahhaatplaatidelt. Arretiiri paksus on kogu ulatuses 0,4 cm, etteulatuvate harude pikkus on 2,0 cm ja laius 0,5 cm.

Kaalukangi kirjeldus

Carl Schmidt'i pikaõlalisel analüütilisel täpsuskaalul on rombikujuline, kahe vertikaalse tugivarbaga võrejas kaalukang, mille parempoolne kaaluõlg on gradueeritud sellele käsitsi asetatava haralise ratsurkaaluvihhi ehk reiteri (*Reiter, rider*) tarvis.¹¹ Kaalukangi pikkus kuni otstes paikneva nn luigekaelani¹² on 42,0 cm, kaalukangi paksus kogu kaalukangi ulatuses on 0,4 cm, ülemise osa laius on 0,4 cm, alumise osa ning tugivarva laius on 0,3 cm. Kaalukangi keskel on ovaalse avaga alumist ja ülemist osa ühendav liides, mida ülalt läbib kaalukangiga risti olev, mõlemale poole ulatuv 3,0 cm pikkune terava servaga kandepriisma. Selle kohale on kaalukangi ülemisele servale paigutatud 3,0 cm pikkune keermestatud varras, millel kaks üles-alla keeratavat kettakujulist raskust (vihti). Suurema, alumise ketta läbimõõt on 2,6 cm, ülemisel väiksemal 1,4 cm. Nende abil saab reguleerida kaalu liikuva osa raskuskeset.¹³ Ovaalse ava alumisel äärel, kandepriisma teraviku kohal paikneb allapoole suunatud, lahtikruvitav, 16,0 cm pikkune kaalu osuti. Kaalukangi otstest 3,0 cm kaugusel liituvad kaaluõla ülemine ja alumine pool teineteisest 0,2 cm kaugusel ühtseks 0,9 cm laiuseks tervikuks. Selle ülemisele äärelle kinnitub kahe kruvi abil 3,0 cm pikkuselt 0,1 cm paksune nn luigekaela kinnitusosa.¹⁴ Kruvid kinnitavad seda ainult pooles ulatuses. Ülespoole keeruga ja 0,4 cm laiuse luigekaela alumine ots on rõngakujuline, läbimõõduga 0,5 cm ning selles on ümmargune ava kaalukausside riputusniitude kinnitamiseks. Luigekaela kaugus kaaluõla otsast on umbes 0,5 cm (muudetak) ja pikkus kaare pealt kuni rõnga alumise ääreni on 1,6 cm. Kaaluõla otsa lähedal peal on luigekaela kinnitusosa läbiv silindrilise peaga

¹¹ Langarmige Präzisionswaagen mit rhombischem durchbrochenen Waagebalken und senkrechten Querstreben. Balken einseitig graduirt zur manuellen Auflage eines Reitergewichtes. Long-beam precision balance rhombic structural beam with vertical crossbars; the beam is graduated on one side for the manual positioning of the rider. Vt Jenemann, 45.

¹² Selle loogakujulise, kaalukangi otstes oleva kaalukausside riputusniitude kinnitamise liidese nimetasid juba 16. sajandi kaalumeistrid luigekaelaks.

¹³ Vt foto 5.

¹⁴ Vt foto 6.



Foto 5. Kaalkangi kesk-osa koos terasprisma ja selle kinnitusmuhviga

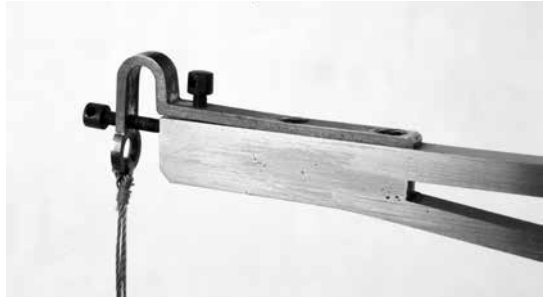


Foto 6. Luigekael

lühike kruvi, mis kaaluõlale toetudes võimaldab luigekaela painutada ülespoole, st tõsta kaalukaussi kinnituskohta ülespoole. Kaaluõla otsa kohal on luigekaela läbiv silindrikujulise peaga 1,0 cm pikkune kruvi, mis teravikuga kaaluõla otsale toetudes nihutab kaalukaasi kinnituskohta kas lähemale või kaugemale. Reguleerimiseks on mõlemal kruvil 0,3 cm läbimõõduga silindrilises peas läbiv auk, millest saab kruvi keeramiseks läbi panna tugeva traadijupi.

Kaalukaasid¹⁵ on riputatud-kinnitatud kolme peene siidiniidi abil kaaluõlgade luigekaelade külge. Niitidest punutud aas ühendab kaalukaussi luigekaela rõnga kaudu kaaluõlaga. Mõlema kaalukaasi läbimõõt on 5,8 cm ja nõgusus 0,7 cm. Kaalukaussi riputusniidid on välja veninud, kaalukaasse ei saa tõsta.

Carl Schmidt kaalu identifitseerimine

Kaalu identifitseerimise eesmärk on selgitada, millise meistri või meistri kaalude eeskujul on meie kaal valmistatud ja mis ajastusse kaal võib kuuluda või kuulub. See on võimalik, kui kaalu mingid ehituslikud detailid oleksid iseloomulikud just ühe konkreetse meistri valmistatud kaaludele ja viitaksid ka ajale, mil seda tüüpi kaalud kasutusel olid.

Niisuguse esimese vihje leidsin Hans Richard Jenemanni 1988. aasta uurimusest, mis on pühendatud keemiateaduse klassiku, 19. sajandi silmapaistva Saksa keemiku Justus Liebigi (1803–1873)¹⁶ Giessenis

¹⁵ Vt foto 1, foto 6.

¹⁶ Justus Liebig (1803-1873), Giesseni ja Müncheni ülikooli keemiaprofessor, Tartu ülikooli auliige (1852).

asavas muuseumis olevatele pikaõlalistele kaaludele.¹⁷ Selle uurimuse 60. leheküljel on joonis¹⁸ Oertlingi¹⁹ kaalu kaaluõla otsal olevast luigekaekajulisest kaalukaasi riputusniitude kinnituskohast, mis on väga sarnane meie kaalu omaga. Jenemann viitab 1842. aastal ilmunud Müller-Pouillet' saksakeelsele füüsika- ja meteoroloogiaõpikule,²⁰ kus kaalulist käsitlevas peatükis kirjeldatakse üksikasjaliselt August Oertlingi valmistatud kaalu. Märkusena toob Jenemann, et hilisemais kirjutistes tõdetakse, et Oertlingi kaalud on sageli olnud teistele eeskujuks.

Müller-Pouillet²¹ õpikus toodud Oertlingi kaalu kirjeldusest ja joonistest selgub, et Carl Schmidti kaaluga on sellel kaalul palju ühist. Kaalukangi ehitus on mõlemal kaalul ühesugune – rombiline kuju ja kahe tugivarvaga ning kaaluõlgade otstes on luigekaekajuline liides, mille alumine ots on rõngasavaga. Erinevus on selles, et kaalukaasside üles riputamise niidid on seotud luigekaela rõngast läbiva konksu alumise otsa külge,²² mitte rõnga ava külge nagu Carl Schmidti kaalul.

Luigekaela eesmärk²³ on võimaldada tasakaalustada koormuseta kaalukangi ja reguleerida kangiõlgade otstel koormuse toetustelgi samale kõrgusele kandeprisma toetusteljega, et nad oleksid ühel tasapinnal.

¹⁷ Hans Richard Jenemann, *Die langarmigen Präzisionswaagen im Liebig-Museum zu Gießen* (Giessen: Mettler Instrumente GmbH, 1988).

¹⁸ Abb. 44. *Ibid.*, 60.

¹⁹ Johann August Daniel Oertling (1803–1866) tegutses Berliinis alates 1826 arvukate täpsusriistade, sealhulgas ka analüütiliste kaalude valmistajana. Vt J. C. Poggendorff, *Biografisch-Literarisches Handwörterbuch*, Bd. II (1863), 313; Bd. III (1898), 983. August Oertlingi noorem vend Ludwig Oertling (1818–1893) läks Inglismaale ja hakkas Londonis 1847. a valmistama Briti Oertlingi täpsuskaale. Vt Tony Morris, <http://www.oertling.com/> (27.10.2014).

²⁰ J. Müller, *Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie*, Bd. I (Braunschweig, 1842), 66–68 beschreibt die von Oertling hergestellte Waage. In späteren Publikationen werden mehrfach die Waagen Oertlings die als Vorbild für andere gedient haben, hervorgeschoben. Vt <http://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb107> Bayerische Staatsbibliothek digitals (27.10.2014).

²¹ Johann Heinrich Jacob Müller (1809–1875), Saksa matemaatik ja füüsik, Freiburgi ülikooli füüsika professor. Vt http://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Heinrich_Jacob_Müller (27.10.2014). Claude Servais Mathias Pouillet (1790–1868) Prantsuse füüsik, Sorbonne'i ülikooli professor. Tema õpik ilmus 1827. Vt http://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Pouillet (27.10.2014).

²² Vt Müller, 68 (Fig. 59).

²³ Bei einer dieser Ausführungen, der sogenannten Schwanenhalsaufhängug, waren die Enden des Balkens bogenförmig nach oben gekrümmt. Man erreichte dadurch, daß der Balken besser auf Gleicharmigkeit und die Endachsen auf gleiche Höhe mit der Mittelachse justiert werden konnten. Vt Jenemann, 11.

Oertlingi kaalul on selleks kaaluõlgade otstes keermestatud vardake, millel on nihutatav kettakujuline raskus. Carl Schmidt kaalul on samas silindrilise peaga kruvi, mille abil saab luigekaela rõngaga osa kaalukangi otsale lähemale või kaugemale nihutada. Kaaluõla peal, luigekaela taga on meie kaalul silindrilise peaga kruvi, mis võimaldab ka rõnga kõrgust muuta. Oertlingi kaalul see puudub. Täpselt niisugune, kahe reguleerimiskruviga kaaluõla otsa joonis on 1866. aastal ilmunud Philipp Carli²⁴ 19. sajandi esimese poole täpsuskaalude ehitusele pühendatud ülevaateartiklis „Die Wage”²⁵ leheküljel 25.²⁶

Kaalukangi keskmine osa, ovaalne ava, on täpselt samasugune, nagu on Carl Schmidt kaalul, samuti kandepriisma paigutus ja raskuskeskme reguleerimise seade kaalukangi ülemisel äärel. Ühesuguse paigutuse ja kujuga on mõlemal kaalul ka osuti ja skaala, samuti ekstsentriku ja selle pööramise ketta paigutus kaalu sambal.

Kaalu arreteerimine on lahendatud mõlemal kaalul ühtmoodi. Erinevus on ainult selles, et tõstmist-langetamist toimetab Oertlingi kaalul sambasisene varras, mida alt tõstab ekstsentrik ja tagasi lükkab, kui ekstsentrikut tagasi pöörata, varda ülemises osas samba sees olev spiraalvedru. Varras on ülal ühendatud samba liigutatava osaga, kaalu arreteerimissüsteemiga.

Müller-Pouillet' õpiku 67. leheküljel on Oertlingi kaalu ülaosa joonis, millelt on näha selle detailne sarnasus Carl Schmidt kaaluga.²⁷ Niisuguse, õpikus esitatud kaalu arreteerimise mooduse võttis kasutusele August Oertling,²⁸ nagu märgib Philipp Carl, tuginedes

²⁴ Philipp Hans Heinrich Carl (1837–1891) Saksa füüsik ja astronoom. Vt http://de.wikisource.org/wiki/ADB:Carl_Philipp_Franz_Heinrich (27.10.2014).

²⁵ Philipp Carl. „Die Wage”, *Repertorium für Physikalische Technik für physikalische und astronomische Instrumentenkunde*, Bd. 1 (München: R. Oldenbourg, 1866), 7–41, + jooniste atlas.

²⁶ Autor kirjeldab kaalukausside mitmesuguseid ülesriputamise viise, nende hulgas ka rõnga abil: Aufhängung in Ringen. Weit häufiger kommt die Aufhängung der Wageschalen in einem Ringe vor, wie die Fig. 5 darstellt.

²⁷ Am genauesten müssen die Wagen seyn, welche zu physikalischen und chemischen Untersuchungen bestimmt sind. Die Figur 62 stellt eine der Wagen dar, wie sie in Berlin von Oertling und von Kleiner verfertigt. Die beiden folgenden Figuren 58 und 59 stellen Details dieser Wagen dar.

²⁸ Vt 23, lk 31. Müller, 31: Bei den neueren deutschen Wagen wird meistens die in Fig. 2, 3, 4, Taf. 1 dargestellte Arretirung des Wagbalkens angebracht, welche Oertling zuerst angewendet hat. Die prismatische Schneide ruht während des Gebrauches der Wage auf den beiden Achatplatten, welche mit der Säule der Wage

Johann Heinrich Buff'i (1805–1878) 1853. aastal ilmunud raamatus toodud andmetele.²⁹

Kirjandusest saadud andmetest selgub, et Carl Schmidti kaalul on väga palju ühist ülaltoodud autorite kirjeldatud Oertlingi kaaluga või kaalu tüübiga. Kaalu samba küljes oleva ekstsentriku ja sisemise tõstevarda kasutamisel saaks kaalu ka lahtivõetavaks ja kasti pakitavaks teha. Mülleri-Pouillet' õpiku 70. leheküljel on Oerteli kaalu joonis (Fig. 62), millel on ekstsentriku pööramise ketas kaalu samba küljes ja tõstevarras samba sees.

Võime ju oletada, et kaalu arreteerimiseks vajalik sambaväline tõstesüsteem on kasutuselt varajasem kui sisevarda kasutamine, aga selle kohta puuduvad siinkirjutajal veel andmed. Võib isegi oletada, et see on Oertlingi valmistatud ja varasemasse perioodi kuuluv kaal. Vajalikud on veel lisauuringud.

Kaalu meister, valmistamise koht ja täpne aeg jäävad (võrdlus) andmete puudumise tõttu lahtiseks. Oma tegumoelt võime kaalu paigutada kindlasti 19. sajandi esimesse poole.

August Oertlingi (Berliin) pikaõlaline analüütiline kaal

Kaalu saabumine muuseumi

See kaal on saadud Tartu Ülikooli anorgaanilise keemia kateedrist ning selle andis ülikooli ajaloo muuseumile üle Tullio Ilomets 11. juunil 1993 koos teiste samast kateedrist pärit ajalooliste analüütiliste kaaludega. Andmed selle kohta, millal see kaal keemiaosakonda muretseti või saadi, on seni selgusetu. Kaal on valmistatud messingist, on komplektne ja heas seisundis. Kaalu maksimaalseks koormuseks

unverrückbar fest verbunden sind. Diese feste Unterlage ist von einem auf und nieder beweglichen Rahmen umgeben, der mit einer Stange im Innern der Säule zusammenhängt, mittelst einer excentrischen Scheibe im Fusse der Säule gehoben werden kann, und durch eine Spiralfeder am oberen Ende der Stange herabgedrückt wird. In dem Rahmen befinden sich vertikal unter den beiden Enden der Stahlschneide zwei Einschnitte, welche dazu dienen, die Schneide, wenn man den Rahmen hebt, aufzunehmen und von ihrer Achatunterlage abzuheben; zugleich greifen die Arme eines Querstückes unter entsprechende Stellen des Wagbalkens, wodurch diese festgehalten wird.

²⁹ H. Buff, *Grundzüge der Experimentalphysik* (Heidelberg, 1853), 81. Bayerische Stadtbibliothek München, digital.

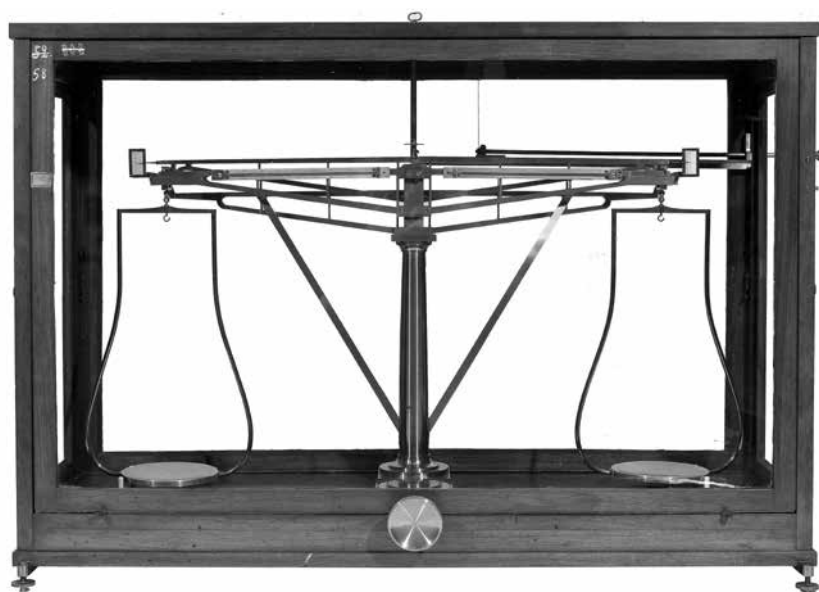


Foto 7. August Oertlingi kaal, eestvaade

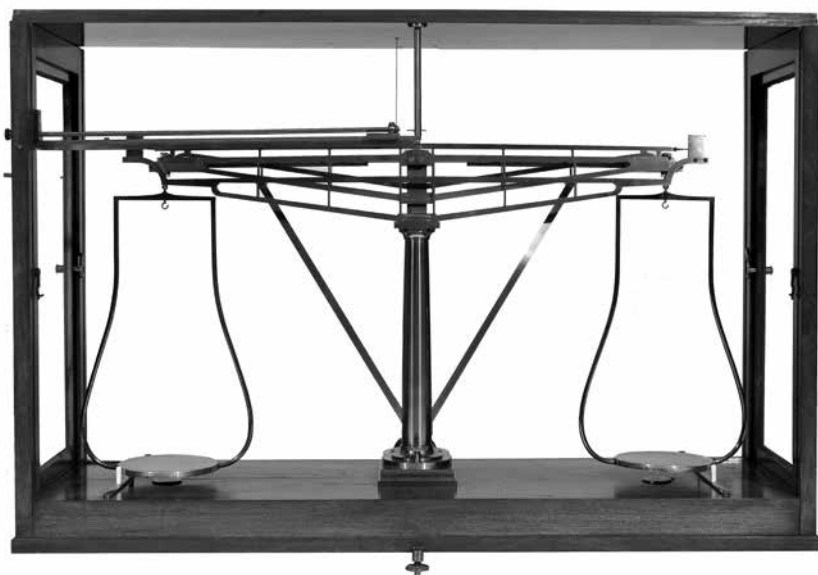


Foto 8. August Oertlingi kaal, tagantvaade

on suuliste andmete alusel 1 kg. Kirjalikud andmed seni puuduvad. Puudusena tuleb märkida, et kaalu esiküljel, tõsteraami eesäärel paikneva vasakpoolse termomeetri ülemine ots on murdunud. Kaalukasti tagumise, klaasitud akna raami ülemine liist on lahti kõmmeldunud ja põrandas keskel on pikiulatuses kinnine pragu. Kaalu samba messingist ümmarguse aluse ülemisele äärele on graveeritud: *Aug. Oertling in Berlin, № 1329*.³⁰ Kaalu samba taha kaalukasti-kapi põrandale on tuššiga kirjutatud number 808; sama number 808 on ka kaalukausside alla, põrandale kinnitatud kahel ümmargusel messingplaadil. Kaalukapi ülemisele äärele, luku kõrvale, on tuššiga kirjutatud number 199⁴ (1994). Ülestõstetava esiraami vasakul ülerval nurgas on valge värviga numbrid: number 58 ja maha tõmmatud numbrid 52 ja 808. Raami äärel on paberist väike inventari silt, millel numeraatoriga löödud 052. Muuseumi inventarinumber on kaalul ÜAM 801:5/Aj (nr 52 on vanem, nr 58 on perioodist 1945–1956; vt TRÜ Anorgaanilise Keemia kateedri inventari raamat 1.V 1945–1956. ÜAM 248:2/Ar4811 – *toim*).

Kaalukasti(-kapi) kirjeldus

Kaal on paigutatud mahagonipuust valmistatud kasti, millel on külgedel lahtikäivad klaasidega ukсед ning esi- ja tagaküljel vajalikule kõrgusele ülestõstetavate klaasidega puitraamid.³¹ Kaalukasti all, ees äärel nurkades, on kaalu loodi seadmiseks kaks ning kasti tagaküljel keskel üks reguleeritava kõrgusega keermestatud messingist jalg. Kaalukasti pikkus on 80,0 cm, kõrgus 54,0 cm ja laius 24,0 cm. Kaalukasti esikülje alumise osa kõrgus on 6,0 cm.

Kast on lukustatav. Lukk asub kasti ülemisel äärel ees keskel, lukuauk on kasti lael. Võti on säilinud. Kaaluruumi põrandal kaalukausside väliskülje ääres on kausside võnkumise summutamiseks pidurid. Piduriks on kaks teineteisest 6,5 cm kaugusel asuvat 1,5 cm pikkust ja 0,6 cm läbimõõduga luust pulka, mis on kinnitatud paremale-vasakule liigutatava 0,1 cm paksuse messingliistu külge. Pidurite käepidemed on vasakul ja paremal pool kaalukasti esiküljel. Mõlema kaalukausi all on kasti põhja läbiv ümmargune auk, mille peal on 3,2 cm läbimõõduga ja 0,1 cm paksune ümmargune, augu pealt

³⁰ See on juba mainitud Johann August Daniel Oertling.

³¹ Vt foto 7, foto 8.

kõrvale pööratav messingist kate. Kaalukasti sees, kaalukangist veidi tahapoole, on kasti lakke kinnitatud 12,0 cm pikkune allapoole ulatuv varb, mille külge kinnitub horisontaalne, 38,0 cm pikkune kasti parempoolse seina küljes olev tugiliist. Tugiliistu süvendis liigub reitrihoidja, mis on ühendatud kaalukastist välja ulatuva juhtvardaga.

Kaalukasti põrandale kinnitatud messingist alusplaadi kaarjale esiosale on kinnitatud suur, 7,4 cm läbimõõduga ning 1,1 cm paksune ümmargune, klaasiga kaetud vedeliklood. Klaasi all liikuv õhumull peab kaalu loodis olekul asuma ringi keskel.

Kaalu kirjeldus

Kaal koosneb kolmest põhioslmest:

1. kaalu sammas koos ahhaatplaatide paigutusosaluse, kaalu arreteerimise tõstemehhanismi ja kaalu skaalade kinnitusraamiga;
2. kaalukang koos kandepriismadega, raskuskeskme reguleerija ning osutitega;
3. kaalukaunid koos ülesriputusraamidega.

Kaalu samba kirjeldus

Kaalu sammas on kinnitatud kasti põranda küljes olevale 16,0 × 8,3 × 0,7 cm suurusele messingplaadile.³² Samba neljakandilise alumise osa mõõtmed on 7,7 × 7,7 × 1,1 cm, millel samba 7,6 cm läbimõõduga ringikujuline 0,7 cm paksune aste, mille peale on graveeritud kaalu-meistri nimi ja number. Järgneb samba tüvikoonuseline osa. Samba läbimõõt on tõstesüsteemi külgharude väljatuleku kohal 4,0 cm ja samba neljakandilise, 4,8 × 4,8 × 1,1 cm suurusega plaadi all 3,0 cm. Samba enda pikkus on alusplaadist kuni neljakandilise osa ülemise ääreni 27,7 cm. Kaalusamba kogupikkus alusplaadilt ahhaatplaatide tasemeni on 33,5 cm. Samba ülemisele suurele plaadile on kinnitatud 4,0 × 4,0 × 0,9 cm suurune plaat, mille peal on kaks paralleelselt 1,2 cm kaugusel asetsevat ahhaatplaatide kandjat, mille mõõtmed on 5,8 × 2,1 × 1,1 cm. Samba tagaküljel on skaalade kinnitusraam, mille kogupikkus on koos raami otstele kinnitatud skaaladega 61,5 cm. Skaalade suurus on 3,0 × 1,7 cm.³³ Skaalade tugiraam, millel on kuus vertikaalset tugivarba, kinnitub oma 4,5 cm kõrguse keskosaga

³² Vt foto 9.

³³ Vt foto 10.

samba ülemise, neljakandilise plaadi tagumise serva ning tagumise ahhaatplaadi kandja välimisele küljele kinnitatud lisaplaadi külge.³⁴ Kaalukangi arreteerimissüsteemi keskne osa on plaat, milles on avad, kuhu täpselt mahuvad ahhaatplaatide kandjad ning mis on ühendatud samba sees üles-alla liigutatava varda ülemise otsaga. Plaat on kahest äärest kinnitatud kaalukangi mõlemalt poolt ümbritseva pika arreteerimisraami 5,4 cm kõrguse keskosa alumise ääre külge. Raami mõlema poole keskosa ülemise ääre laiendis on prismaga kohakuti kolmnurkne sälk. Kaalu arreteerimisel tõuseb raam, prisma haaratakse mõlemast otsast sälkudesse ja tõstetakse ahhaatplaatidelt. Prisma tõstetakse üles otstest, neist kohtadest, mis pole kaalumise ajal kokkupuutes ahhaatplaatidega. Tõsteraami üles-alla käigu pikkus on 1,0 cm. Tõsteraam on 55,0 cm pikkusest kaalukangist otstes 1,0 cm võrra pikem. Raami otstes on riivid, millega suletakse raami pooled, kui kaalukaunid on kaaluõlgadele asetatud. Tõsteraami mõlemad pooled on rombikujulised, kuue vertikaalse tugiivarvaga ning on teineteisest 2,8 cm kaugusel.

Tõsteraami esiküljel on raami ülemisel äärel kaks 19 cm pikkust äravõetavat elavhõbetermomeetrit, mis on kinnitatud kaaluõlgade otste kohale.³⁵

Kaalu loe alt ulatub kaalu esiküljele välja 1,1 cm läbimõõduga pöörämiskettaga varras (telg), mille teine ots ulatub samba all oleva tõstemehhanismi külge. Kaalu arreteerimiseks tuleb kettaga, mille läbimõõt on 5,4 cm, teha kolm täispööret päripäeva ja vabastamiseks kolm täispööret vastassuunas. Kolme pöördega liigub ka ketta varras koos kettaga 0,5 cm võrra väljapoole ja kaalu arreteerimisel tagasi. Kaalu samba all olev mehhanism muudab varda horisontaalse pöörämisiikumise samba alumises osas oleva kolmeharulise varda vertikaalliikumiseks. Samba koonilise osa algusest 1,0 cm kõrgusel on sambas kahel pool 3,0 cm pikkused ja 1,0 cm laiused lõhed, millest ulatuvad poolpõiki välja 0,9 × 0,9 cm läbimõõduga ja 30,0 cm pikad neljakandilised vardad, mis ülevalt on ühendatud tõsteraami kaht poolt alt ühendava ristliistuga. Samba sees olev varras ja sellele kruvidega kinnitatud välised vardad koos kahepoolse raamiga moodustavad jäiga ja täpselt töötava kaalukangi arreteerimissüsteemi.

³⁴ Vt foto 11.

³⁵ Vt foto 10.



Foto 9. Messingplaat



Foto 10. Skaala



Foto 11. Kaalu samba ülemise osa tagantvaade

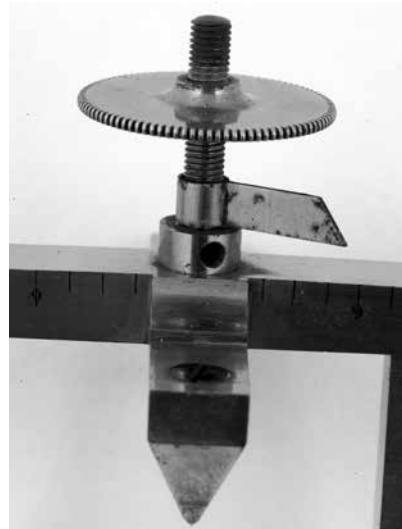


Foto 12. Kaalukangi keskosa detailvaade

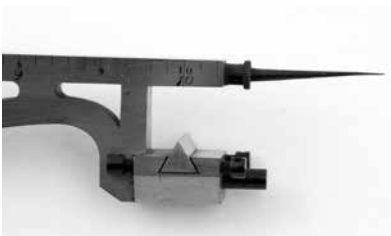


Foto 13. Kaalukangi parempoolse otsa detailvaade



Foto 14. Kaalukaussi kaalukangi-ga ühendav ühendusraam

Kaalukangi kirjeldus

Oertlingi suurel analüütilisel kaalul on rombikujuline, võrejas, kuue vertikaalse tugivarbaga kaalukang. Kaalukangi pikkus on 55,0 cm, laius kandepriisma kohal 5,0 cm ning kaaluõla laius otstes, enne kaheks haruks jaotumist 2,4 cm. Kaaluõla ülemise ja alumise raamiosa laius on 0,6 cm, tugivarbade laius 0,2 cm. Kaalukangi paksus on ühtlaselt 0,9 cm. Kaalukangi mõlema õla ülemise raami esiküljel on gradueeritud. Kaaluõlal on kaks erinevat gradueeringut: ülemine ja alumine. Ülemine skaala algab priisma juurest numbriga 10, järgneb 9, kuni nullini, mis asub kaaluõla poole pikkuse peal. Nullil on vasakul miinusmärk, paremal plussmärk. Nullist paremale algavad numbrid 1, 2, viimne on 10, mis asub otsapriisma kohal. Iga numbri vahe on jagatud veel viieks osaks. Alumine skaala algab keskpriisma juurest numbriga 1, 2, kuni 10 otsapriisma juures. Numbrite vahe on kaks ülemise numbri vahe pikkust, seega kümme ülemist vahejaotust. Kaalukangi keskel, priisma kohal üleval äärel on 2,0 cm pikkune keerrestatud varras, millel üles-alla keeratav ketasviht ning selle all paremale-vasakule pööratav metallist õhuke nelinurk.³⁶ Ketas reguleerib raskuskeset, pööratav raskus nullpunkti. Kaalukangi mõlema õla lõpus on ülemise haru küljes 2,7 cm pikkune osuti. Kaalukangil on kolm kaalukangi tasapinnaga risti olevat terasest kandepriimat. Keskmise, suure priisma terava serva pikkus on 4,0 cm. Kaks 2,0 cm pikkust priimat asuvad kaaluõlgade lõpus, alumisel harul olevas viie väikese kruvi abil reguleeritavas prismapesas.³⁷ Neljal kruvil on silindriline auguga pea. Nende kruvidega reguleeritakse prismade asendit, sest kaalukangi kolme priisma teravad kandeservad peavad asuma ühel tasapinnal ning kahe otsapriisma kandeservad peavad olema reguleeritud rangelt paralleelseiks keskmise priisma kandeservaga. Neile kahele prismale toetuvad kaalukausside ülesriputamisraamide ahhaatplaadid.

Kaalukausside ja ülesriputusraamide kirjeldus

Kaalukaussid on veidi nõgusad, allapoole keeratud äärega ning nende põhja alla keskele on kinnitatud väikene metallaas.³⁸ Kaalukausside läbimõõt on 10,0 cm. Kaalukausside allakeeratud ääre küljes on kaks

³⁶ Vt foto 12.

³⁷ Vt foto 13.

³⁸ Kaalu saab kasutada ka hüdrostaatliseks mõõtmisteks, vähemalt on see võimalus.

0,5 cm läbimõõduga ümaralt väljapoole painutatud ja vastakuti asetsevat messingvarba ning nende peal, otstel, 28 cm kaugusel kaalukausi pinnast, 10,0 cm pikkune ja 0,2 cm paksune horisontaalne liist. Liistu keskel, alumisel äärel on konks kaalutava eseme riputamiseks. Ülal, konksu kohal on liidese kinnituskoht, mis ühendab kaalukaussi kaaluõla otsaprismale toetuva ahhaatplaadi raamiga. Liides võimaldab kaalukaasil võnkuda ette-taha ja paremale-vasakule, mis tagab talle vertikaalasendi. Liidese kogupikkus on 2,0 cm. Raami välismõõtmed on 2,6 × 2,6 × 0,9 cm. Raami sees üleval ääres on 0,3 cm paksune ahhaatplaat. Raami mõlemal küljel, ülemisest äärest veidi allpool on raami küljes 0,5 cm läbimõõduga 0,8 cm pikkused ümmargused külgharud.³⁹ Kaalu arreteerimisel haarab tõsteraam külgharud oma sälkudesse ja tõstab ahhaatplaadi prisma teravalt servalt üles. Pikk arreteerimis(tõste) raam vabastab kaalukangi kolm prisma koormusest üheaegselt.

Kaalu identifitseerimine

August Oertlingi pikaõlalise täpsuskaalu nr 1329 valmistamisaeg jääb seni määramata. Võib arvata, et number tähistab Oertlingi töökojas valmistatud seadmete üldist järjekorranumbrit. Oertling asutas oma töökoja 1823 ja suri 1866, seega võiks arvata, et kaal on valmistatud selles ajavahemikus. Mis Oertlingi firmast edasi sai, pole õnnestunud seni teada saada. Eeldame, et kaal on valmistatud tema eluajal. Kaalu omapära on selles, et kaalukangil pole allapoole suunduvat osutit. Selle asemel on kaalukangi otstes teravikud, mis ulatuvad külgskaaladeni. Philipp Carl peab niisugust tasakaaluseisundi kontrolli lahendust vanemaks.⁴⁰ Kaalu arreteerimine on lahendatud põhimõtteliselt Oertlingi kaaludele omaselt: kaalukangi prisma tõstetakse ahhaatplaatide alust ümbritseva raami abil ahhaatplaatidelt ja fikseeritakse raami sälkudesse. Sellel kaalul arreteeritakse ühel ajal ka kaalukausside ahhaatplaatidega riputusraamid, tõstes raamid kaalukangi otsaprismaidelt ja fikseerides tõsteraami sälkudesse. Kas see oli uudne lahendus, vajab edasist selgitust. See kaal võimaldas teha ka hüdrostaatiliselt

³⁹ Vt foto 14.

⁴⁰ Vt Carl, 21. Bei den älteren Wagen ist deshalb an dem Wagebalken in der Verlängerung der Axe desselben ein Index angebracht welcher an einer unabhängig davon befestigten Scala erkennen lässt, wenn die Axe des Wagebalkens wirklich genau horizontal steht.

määramisi. Kaalukausside all on metallaasad, mille külge kinnitatakse läbi kaalu põrandas olevate aukude peened metallniidid alumise süsteemiga ühendamiseks. Ilmselt on kaalukangil sel eesmärgil ka kaks eraldi skaalat. Kaal ise paigutatakse spetsiaalsele alusele.

Pikaõlaliste täpsuskaalude ajaloost

1770. aastateni kasutati teaduslikes uuringutes ikka veel proovikaalu tüüpi kaalusid, mida alates 16. sajandi keskpaigast oli 200 aasta jooksul kaalu tundlikkuse ja mõõtmistäpsuse suurendamiseks täiustatud, kuid oma põhiehituselt jäid need ikka samaks.⁴¹ Ülevaatliku kokkuvõtte kaalude arengust, seisust ja edasistest võimalikest arengusuundadest ning kaalukangi ehitusele esitatud nõuetest annab Jacob Leupold (1674–1727) oma 1726. aastal ilmunud raamatus „Theatrum staticum”.⁴² H. Jenemann annab sellele raamatule kiitva hinnangu, nimetades seda ilusaimaks kaalude kohta käivaks raamatuks, mis on kunagi ilmunud.⁴³ Ta analüüsib raamatut põhjalikult ning tõdeb, et tänu Leupoldi uuendustele osutus võimalikuks esimest korda kaaluda lahutusega (*mit einem Auflösungsverhältnis, with a resolution of about*) 1:10⁻⁵,⁴⁴ mis oli ühe suurusjärgu võrra enam, kui varasemad kaalud võimaldasid. Leupold andis ülevaate kõikidest teistest tol ajal kasutusel olnud kaaluliikidest.⁴⁵ Leupold oli ka esimene, kes esitas oma raamatus kaalu teooria, mis arvestas aga ainult kaalu üldisi konstruktsioonilisi aluseid. Nimelt korralikult töötaval kaalul peavad kaalukangi otste koormuse rakenduspunktid-teljed olema ühel joonel kaaluõla enda koormuse rakenduspunktiga-teljega ning kaalukangi võnketelg peab olema kaalukangi raskuskeskmest veidi ülalpool.⁴⁶

1730. aastal Vene keisrinna Katarina I kutsel Peterburi teaduste akadeemiasse tulnud Baseli matemaatik ja füüsik Leonhard Euler

⁴¹ Vt Ilomets, *Ajalooline proovikaal*.

⁴² J. Leupold. Pars I, *Theatri statici universalis, sive Theatrum staticum, Das ist: der Gewicht-Kunst und Waagen von Jacob Leupold, Mathematico und Mechanico* (Leipzig, gedruckt bey Christoph Zunkel, 1726). (Heinrich Heine Universität Düsseldorf digital). Tartu Ülikooli raamatukogus on 1. osa 1774. aasta kordustrukk.

⁴³ Seine zusammenfassende Übersicht mag das schönste Buch sein, das je über die Waage erschienen ist. Vt *Die Waage des Chemikers*, 34.

⁴⁴ Vt *Die Waage des Chemikers*, 33–37.

⁴⁵ Vt foto 15.

⁴⁶ Vt Leupold, *Theatrum staticum* (1774), Tab. VI Fig. II. Tartu Ülikooli raamatukogu.

(1707–1783) esitas 1738. aastal võrdõlgse kangkaalu teooria, milles näitas, et kaalu tundlikkus oleneb kaalukangi ehituslikust olemusest. Tundlikkus on proportsionaalne kaalukaalukangi pikkusega ja vastuproportsionaalne kaalukangi massi ning kaalukangi pöördetelje ja raskuskeskme vahelise kaugusega. Seejuures peab kaalukangi raskuskese olema pöördeteljest veidi allpool. Vastasel juhul on kaal ebastabiilne. Hea tundlikkusega võrdhaarsel kaalul peab olema küllalt pikk ja võimalikult kerge kaalukang. Kaalu tundlikkust tan α iseloomustab seos

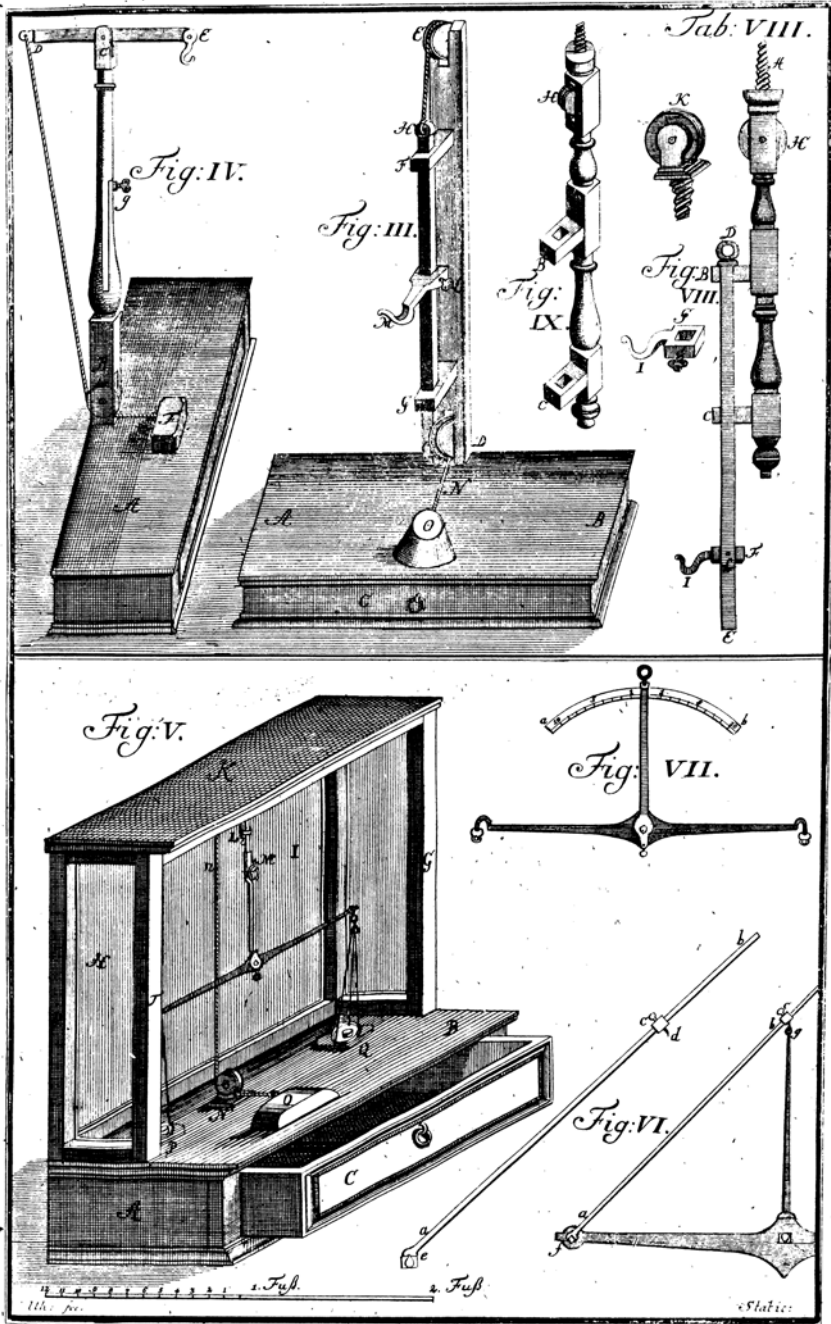
$$\tan \alpha = k \frac{l}{d mb} \Delta m$$

kus k = konstant, millesse läheb ka süsteemi hõõrdumine, l = kaalukangi pikkus, d = kaalukangi pöördetelje ja raskuskeskme vaheline kaugus, mb = võnkuva süsteemi, iseäranis kaalukangi mass, Δm = tasakaalus kaalu ühele kaalukaasile lisatud väike mass, α = osuti kaldenurk väikese lisamassi toimel.⁴⁷ Täpsuskaalude konstrueerimine ja valmistamine neid reegleid silmas pidades ei osutunud kaalu-meistritele sugugi lihtsaks ülesandeks. Kaalu tundlikkuse suurendamisel kaaluõlgade pikendamise teel peab olema tagatud, et ette nähtud maksimaalse koormuse piirides, nt 100 g, kaalukang ei painduks. Samuti, et ta oleks väikese massiga ja raskuskese paigas ning hõõrdumine minimaalne. Täpsuskaal peab võimaldama lubatud maksimaalse kaalutava massi piirides vajaliku püsiva tundlikkuse, mis tagab tulemuste õigsuse ja reprodutseeritavuse.

18. sajandi viimaseil kümnendel olid füüsika ja keemia jõudnud tasemele, kus seniste kaalude täpsus enam ei rahuldanud. Oli vaja kaale, mis võimaldaksid nii väikest kui ka suuremat massi täpsemalt kaaluda, kui seda võimaldasid proovi- või apteegikaalud. Lahendu-

⁴⁷ Hans R. Jenemann, „Zur Geschichte des langarmigen Waagebalkens von Präzisionswaagen“, *Zeitschrift für Metrologie*, Heft 29 (März 1994), 672–687. Vt ka Carl, *Theorie der Wage*, 8–12.

Foto 15. Tab VIII. Fig. III ja IV on kaalukasti peale kinnitatud proovikaalude erinevad tõstemehhanismid. Fig. VIII ja IX on erinevad kaalukasti lakke kruvitavad proovikaalude tõstemehhanismid. Fig. V on tundlik dioptriga proovikaal (empfindliche Probierwaage, sensitive assay balance) klaasitud kaalukapis-kastis (Gehäuse, case). Fig. VII on Nürnbergi dukatikaalu (ducat scale) skits (J. Leupold, 1726. 1774. a kordustrukkk Tartu Ülikooli Raamatukogus, digitaal)



seks olid pikaõlalised kaalud. Pikaõlaliste täpsuskaalude ajastu paigutab H. R. Jenemann ajavahemikku alates ligikaudu 1775–1875, mil ülekaalu hakkasid saama lühiõlalised täpsuskaalud (analüütilised kaalud). Üleminek ei olnud järsk, vaid kulges ajapikku.⁴⁸

Pikaõlaliste täpsuskaalude algaastail olid kasutusel massiivse, otste poole aheneva lameda kaalukangiga kaalud. Niisuguseid kaale kasutas uue keemia rajaja Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794).⁴⁹ On säilinud kaal, mille valmistas Lavoisier'le Jean Nicolas Fortin (1750–1831).⁵⁰ Lavoisier tunnustas ka Londoni meistri Jesse Ramsdeni (1737–1800) täpsuskaale. Londonis on säilinud Inglise keemikule-füüsikule Henry Cavendishile (1731–1810) William Harrisoni (1727–1811) valmistatud lameda massiivse kaalukangiga täpsuskaal. 18. sajandi lõpul hakati pikaõlalise kaalu tundlikkust tõstma kaalukangi massi vähendamise teel, kusjuures kaalukangi kandevõime ei tohtinud väheneda.⁵¹ 1788. aastal kirjeldas Jesse Ramsden pikaõlalist täpsuskaalu, mille kaalukang oli seest tühi ja kahe pika, põhja äärt-pidi kokku liidetud kaksikkoonuse kujuline. Ramsdeni eeskujul on ka mitmed teised kaalumeistrid koonilise kaalukangiga täpsuskaale valmistanud. Näiteks Edward Troughton (1753–1835) 1798 Londo-

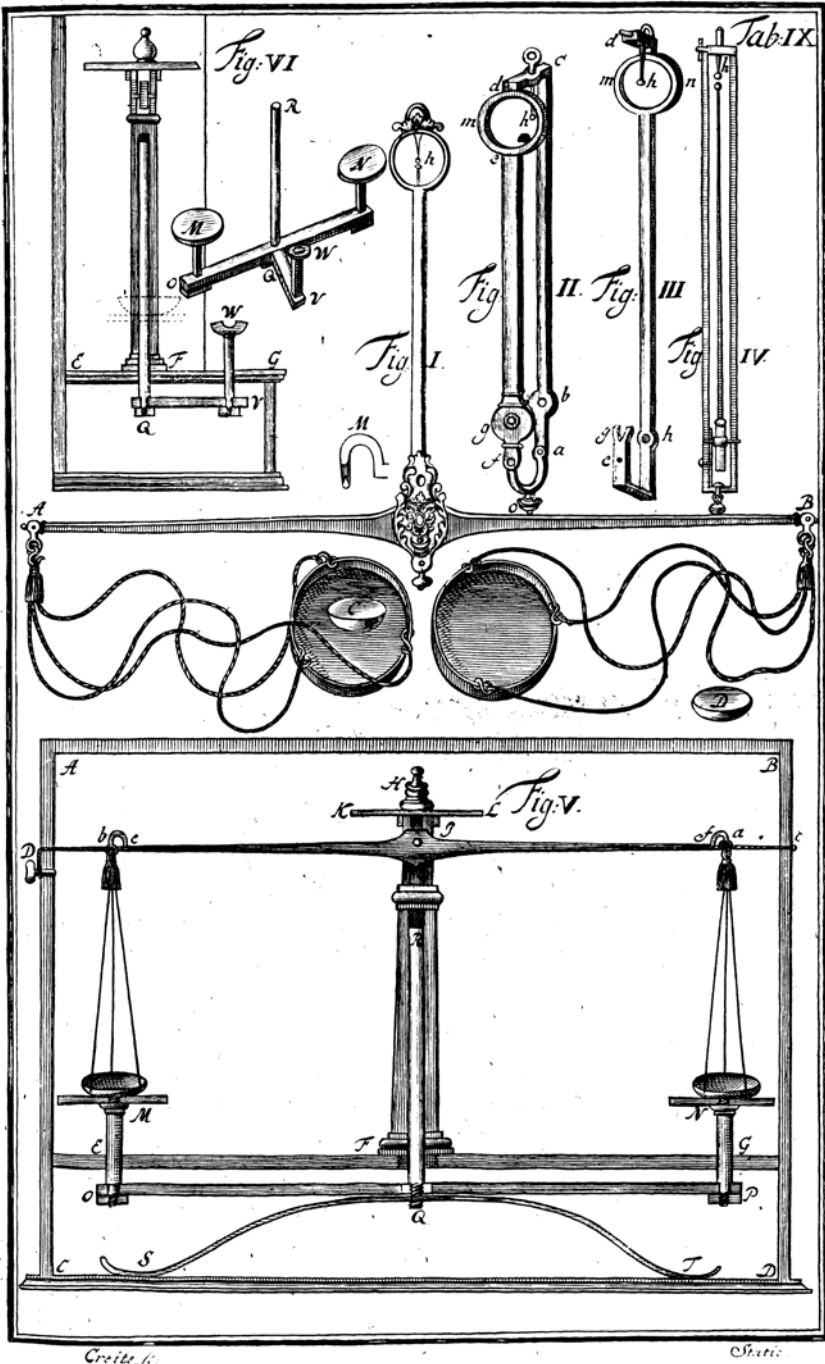
⁴⁸ Vt Jenemann, *Die Waage des Chemikers*, 38-48.

⁴⁹ Vt 38 Jenemann, S. 673-676. Langarmige Präzisionswaagen mit massiven Waagebalken.

⁵⁰ Jean Nicolas Fortin. Vt http://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Nicolas_Fortin (27.10.2014).

⁵¹ Vt 38, Jenemann, S. 676–683. Langarmige Präzisionswaagen mit hohlem, konischem Waagebalken.

Foto 16. Tab. IX Fig. I on dioptriga proovikaal kaalukausside ja kahe väikese kaalumiskausiga. Kaalukaussid on ühendatud kandeniitide aasa kaudu kaalukangi lõpus oleva rippuva rõngaga kaksikkonksu abil. Kaalukangi ümmargune kandetelg on rippuvate kinnitusrõngaste kandetelgedega samal kõrgusel. Fig II ja III on kaalu dioptriga tugisüsteemi (Schere, shear) eri variandid. Fig. IV on kaal külgvaates. Fig. V ja VI on Jacob Leupoldi „uut tüüpi proovikaal“ 1726. Kaalukangi otstes on rõngaga luigekaelad, kuhu kinnituvad kaalukaasi riputusniidid. Kaalul puudub osuti. Seda asendab kaalukangi taga, kasti seinast seinna horisontaalselt tõmmatud niit (D-C), mille järgi kaalukang tasakaalustatakse. Kaalul on kaalukausside ja kaalukangi arreteerimisese, mille tööprintsipi selgub joonistelt. Kangi W alla surumisel läheb kaal kaalumisseisundisse, selle vabastamisel taastub vedru ST jõul kaalu endine arreteeritud seisund (J. Leupold, 1726. 1774. a kordustrükk Tartu Ülikooli Raamatukogus)



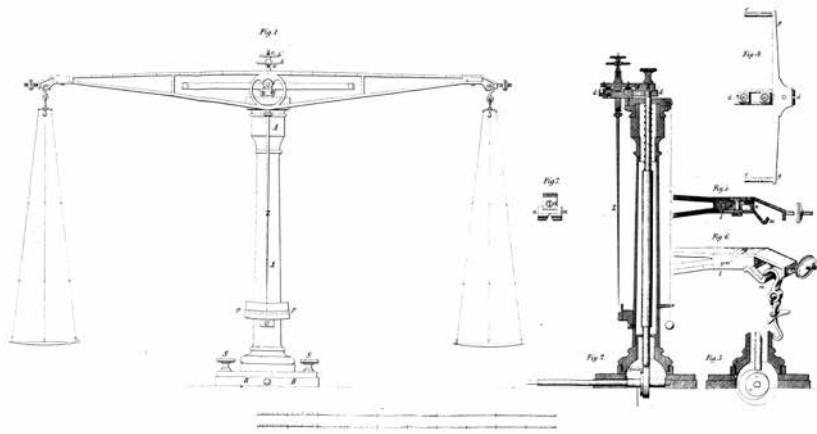


Foto 17. Taf. 1. 19. sajandi esimese poole nn „Berliini tüüpi“ pikaõlalise täpsuskaalu eest vaade, läbilõige ja detailid (Ph. Carl. Die Wage. Album 1866. Tartu Ülikooli Raamatukogu. Vt. 25)

nis, Karl Theodor Nathan Mendelssohn (1782–1852) 1808 Berliinis jt. Koonilise kaalukangiga kaalud olid täpsed, kuid neil oli üks oluline puudus. Koonilise kaalukangi valmistamine oli aeganõudev ja seetõttu olid need kaalud väga kallid ning tehti peamiselt erijuhtude tarvis. Oli vaja leida niisugune kaalukangi konstruktsioon, mis oleks kerge ja tagaks sama häid kaalumistulemusi nagu koonilise kaalukangiga kaaludega. Lahendus⁵² leiti: varem kasutatud lame massiivne kaalukang muudeti rombikujuliseks võrejaks (*durchbrochen*), milles olid vertikaalsed tugivarvad-ribid (*senkrechte Rippen, vertical crossbars*), mis tagasid kaalukangi koormuskindluse. Kaalukangi mass vähenes tunduvalt ja kaalu kaalumistundlikkus suurenes.

Londonis alustas rombikujulise kaalukangiga analüütiliste kaalude tootmist 1823. aasta paiku Thomas Charles Robinson (1792–1841). Saksamaal Berliinis valmistati esimesed „standardsed“ rombikujulise kaalukangiga täpsuskaalud Carl Philipp Heinrich Pistori (1778–1847) töökojas.⁵³ Need olid Kesk-Euroopa ulatuses ka esime-

⁵² Vt 38, Jenemann, S. 683–686. Langarmige Präzisionswaagen mi durchbrochenem Waagebalken.

⁵³ Heinrich Pistor, vt http://de.wikipedia.org/wiki/Carl_Philipp_Henrich_pistor (27.10.2014). Heinrich Pistor tegutses pikka aega koos Berliini esimese peenmehaaniku Nathan Mendelssohniga. 1813. aastal asutas ta oma mehaanikatöökoja. Pistori juures õppis ja töötas August Daniel Oertling, kes 1826. aastal asutas

sed seda tüüpi kaalud. Pistor ja tema õpilane August Daniel Oertling pidid oma töökodades neid „Berliini väljatöötusega” kaale üsna varakult tootma, sest juba 1830. aastail ilmunud õpikutes, kus kaaludest juttu, on nende kaalude pilte. Ei ole võimalik kindlaks teha, kes esimesena rombikujulise kaalukangi kasutamise mõttele tuli, kas Robinson või Berliini meistrid. Tõenäoliselt mõlemad omaette iseisvalt. 19. sajandi esimestel aastakümnetel oli Saksa kaalumeistritel tavaks Robinsoni kaale eeskujuks võtta, kuna Inglise meistrite kaalud olid väga hinnatud. Siiski kasutati paljudes Saksa laboratooriumides sel ajal kaale, millede kaalukang oli valmistatud Berliini kaalumeistrite mustri järgi („*Berliner Ausführung*”).⁵⁴

Pikaõlaliste täpsuskaalude puuduseks oli kaalumisprotsessi aeglus, kuid vaatamata sellele, toodeti neid veel mõnda aega paralleelselt kiirete lühiõlaliste täpsuskaaludega, millede massiline tootmine algas 19. sajandi viimastel kümnenditel.

* * *

Täna Tartu Ülikooli raamatukogu hoidjat Mare Randa ja keemia-instituudi raamatukogu töötajaid Marju Salvat ning Helju Kõrsi kirjandusalase abi eest. Täna Tartu Ülikooli muuseumi muuseumikogu hooldajat Maris Tuulingut abi eest kaalude ehituse uurimisel ja nende mõõdistamisel ning muuseumi kunstnikku Margot Saksonit fotodega seonduva abi eest.

◆ ◆ ◆

Tullio Ilomets, *cand. chem.*, on Tartu Ülikooli ajaloo muuseumi konsultant.

Berliinis oma töökoja, mis saavutas suure tuntuse.

⁵⁴ Vt foto 17.