

Appendix A

Quotations

Quotations of Chapter 1

- 1.1 Les machines simples par lesquelles on meut un poids donné avec une puissance donnée sont au nombre de cinq; il faut indiquer quels sont leurs formes, leurs modes d'emploi et leurs noms. Ces machines sont fondées sur un principe naturel unique, bien qu'elles soient très différentes en apparence. Voici leurs noms: le treuil, le levier, la poulie, le coin et la vis sans fin.
- 1.2 Ma percioche questa parola Mechaniche non verrà forse intesa da ciascheduno per lo suo vero significato, anzi troveransi di quelli, che stimeranno lei essere voce d'ingiuria, solendosi in molte parti d'Italia dire ad altrui Mechanico per ischerno, & villania; & alcuni per essere chiamati Ingegneri si prendono sdegno: non sarà per avventura fuori di proposito il ricordare, che Mechanico è vocabolo honoratissimo, dimostrante, secondo Plutarco, mestiero alla Militia pertinente, & convenevole ad huomo di alto affare [...]. Fù, per nominarne alcuno tra molti Filosofi, & Prencipi de' preteriti secoli, Archita Tarentino, & Eudosso compagni di Platone, & valentissimi Ingegneri, & Mechanici, che sono una medesima cosa, di cui fa Plutarco mentione nella vita di Marcello: & Demetrio Rè, inventore sottilissimo di Machine bellicose, & ne lavorava di sua mano ancora: & fra Greci di Sicilia Mechanico, & Ingegniere famosissimo Archimede Siracusano, il quale era di gran legnaggio, & parente di Hierone Re di Sicilia.
[...]
L'essere Mechanico dunque, & Ingegniero con l'esempio di tanti valent' huomini, è officio da persona degna, & signorile.
- 1.3 Il serait sans doute satisfaisant de pouvoir assigner au juste dans chaque science, le point où elle cesse d'être expérimentale pour devenir entièrement rationnelle: c'est-à-dire, de pouvoir réduire au plus petit nombre possible les vérités qu'on est obligé de tirer de l'observation, et qui une fois établies, suffisent pour qu'étant combinées par le seul raisonnement, elles embrassent toutes les ramifications de la science: mais cela parait très-difficile.

- 1.4 Les principes de cette théorie sont déduits, comme ceux de la mécanique rationnelle, d'un très-petit nombre de faits primordiaux, dont les géomètres ne considèrent point la cause, mais qu'ils admettent comme résultant des observations communes et confirmés par toutes les expériences. Les équations différentielles de la propagation de la chaleur expriment les conditions les plus générales, et ramènent les questions physiques à des problèmes d'analyse pure, ce qui est proprement l'objet de la théorie. Elles ne sont pas moins rigoureusement démontrées que les équations générales de l'équilibre et du mouvement.
- 1.5 Lorsque deux molécules d'un même solide sont extrêmement voisines et ont des températures inégales, la molécule plus échauffée communique à celle qui l'est moins une quantité de chaleur exactement exprimée par le produit formé de la durée de l'instant, de la différence extrêmement petite des températures, et d'une certaine fonction de la distance des molécules.
- 1.6 On ne pourrait former que des hypothèses incertaines sur la nature de la chaleur, mais la connaissance des lois mathématiques auxquelles ses effets sont assujettis est indépendante de toute hypothèse; elle exige seulement l'examen attentif des faits principaux que les observations communes ont indiqués, et qui ont été confirmés par des expériences précises.
- 1.7 Théorème IV. Il est facile de déduire des théorèmes précédents les équations générales de la propagation de la chaleur.

Supposons que les différents points d'un solide homogène d'une forme quelconque, aient reçu des températures initiales qui varient successivement par l'effet de l'action mutuelle des molécules, et que l'équation $v = f(x, y, z, t)$ représente les états successifs du solide, on va démontrer que la fonction v de quatre variables satisfait nécessaire à l'équation:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{K}{C.D} \left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} \right)$$

- 1.8 La Physique mathématique, proprement dite, est une création toute moderne, qui appartient exclusivement aux Géomètres de notre siècle. Aujourd'hui, cette science ne comprend en réalité que trois chapitres, diversement étendus, qui soient traités rationnellement; c'est-à-dire qui ne s'appuient que sur des principes ou sur des lois incontestables. Ces chapitres sont: la théorie de l'électricité statique à la surface des corps conducteurs; la théorie analytique de la chaleur; en la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides. Le dernier est le plus difficile, le moins complet; il est aussi le plus utile, à une époque où l'on veut apprécier l'importance d'une théorie mathématique par les résultats qu'elle peut fournir immédiatement à la pratique industrielle.

[...]

L'Analyse ne tardera pas, sans doute, à embrasser d'autres parties de la Physique générale, telles que la théorie de la lumière, et celle des phénomènes électrodynamiques. Mais, on ne saurait trop le répéter, la véritable physique mathématique est une science aussi rigoureuse, aussi exacte que la Mécanique rationnelle.

- 1.9 Après cette première exploration, on revient au point de départ, pour tâcher d'étendre la théorie inaugurée, au cas d'une homogénéité plus générale du milieu solide, ou telle, que la cause efficiente du phénomène soit changeante avec la direction autour d'un même point. Mais, la loi de ce changement n'étant aussi qu'imparfaitement indiquée par les faits, on la complète pareillement à l'aide d'une seconde hypothèse. De là résulte un autre principe, qui n'est encore que probable, et qui conduit à un nouveau système d'équations linéaires aux différences partielles, plus compliqué, mais plus général que le premier.
- 1.10 Le Cours que j'entreprends aujourd'hui a pour objet principal d'établir la Théorie analytique de la Chaleur, sans partir d'aucun principe hypothétique relatif à la constitution intérieure des milieux solides, sans présupposer les lois de l'échange calorifique, ou du rayonnement particulier, sans adopter aucune restriction pour les variations de la conductibilité autour d'un même point [...]. En effet, la Théorie de l'Élasticité, complètement dégagée de tout principe hypothétique, peut démontrer rigoureusement, en s'appuyant sur les faits, que dans les milieux diaphanes, les particuliers pondérables vibrent lumineusement.
- 1.11 Soient M et M' deux points très-vicines du milieu solide; ζ de distance, de grandeur insensible, qui le sépare; ϕ la latitude and ψ la longitude, qui assignent la direction de MM' ; V la température actuelle en M ; V' un peu moindre de V , celle en M' ; ω et ω' , deux éléments de volume, dont M et M' font respectivement partie, et qui ont leurs trois dimensions infiniment petits par rapport à ζ . La quantité de chaleur cédée, pendant le temps dt , par le volume ω' au volume ω , aura pour expression $\omega \omega' (V - v') F dt$ le coefficient F essentiellement positive depend de la distance ζ et des angles (φ, ψ) .
- 1.12 Ce résumé historique conduit, très-naturellement, à trois prévisions que je vais énoncer, comme autant de propositions à vérifier. *Premièrement*: de l'état stationnaire de trois des théories précédentes, et de la marche incessamment progressive des trois autres, on déduit que les principes partiels de la capillarité, de l'électricité et du magnétisme ne pourront être atteints que lorsqu'on connaîtra ceux de la lumière, de l'élasticité et de la chaleur. *Secondement*: de ce que les deux théories de l'élasticité des corps solides homogènes, et de la double réfraction des cristaux diaphanes, ont eu le même initiateur, Fresnel, on déduit que ces deux théories doivent se fondre en une seule ou se grouper sous le même principe partiel. *Troisièmement* enfin, de ce qu'il ne restera plus que deux théories actives et distinctes, on peut conclure que de leur rapprochement, de leur fusion future, devra jaillir, tôt ou tard, le principe, seul véritablement universel, de la nature physique.

Quotations of Chapter 2

- 2.1 De hoc enim aliquando geometricam probationem facit physicus dicens, quod si non esset sphaerica, non diversificaretur in ea ortus et occasus astrorum. Haec enim probatio astrologica est et accommodata physico: et ideo non dicit nisi

- quia: quia causam propter quam terra est sphaerica, non habet dicere astrologus. Aliquando autem astrologus de eodem probationem facit physicam, sicut quando dicit, quod terra est simplex corpus, et simplici corpori competit figura simplex. Figura autem simplex non est quae in una parte habet angulum, et in alia lineam, sed potius quae omnino est sine angulo: haec enim probatio physica est. Vel etiam quando dicit, quod terrae partes sunt graves: partes autem graves aequaliter festinant cadere circa centrum: et ideo cadunt in circulo. Tales enim probationes dicunt causam propter quam terra est sphaerica, et sumuntur in doctrinalibus ad faciliorem doctrinam.
- 2.2 Quinta opinio, que est vera, ponit quod velocitas motus sequitur proportionem geometricam potentie motoris super potentiam rei mote. Unde sententia illius opinionis est hec: Si sint due potentie et due resistentie et maior sit proportio inter primam potentiam et suam resistentiam quam inter secundam et suam resistentiam, velocius movebitur prima potentia cum sua resistentia quam secunda cum sua, sicut una proportio est maior alia. Exemplum: Sit a una potentia sicut 8, b sua resistentia sicut 2, et sic c una alia potentia ut 6, d sua resistentia ut 3. Moveatur a cum b et c cum d. Tunc in duplo velocius movebitur a cum b quam c cum d, quia in duplo maior est proportio inter a et b quam inter c et d. Ista opinio patet per Aristotelem septimo Physicorum, ubi dicit quod velocitas motus sequitur proportionem potentie motoris super resistentiam.
- 2.3 Ad hoc dicendum quod moveri de se est dupliciter, scilicet proprie et communiter: proprie dicitur moveri de se, quod movetur a principio intra quod est aliquid preter hoc quod est actus materie, et sic non movetur grave de se; set animalia sic moventur de se, et ideo dicuntur moveri ex se, quia moveri ex se aliquid addit supra moveri de se communiter sumptum. Dicitur autem aliquid moveri de se communiter illud quod movetur a principio intra, sive sit actus materie sive non, et sic potest dici grave moveri de se, quia movetur a principio intrinseco, scilicet a forma immateriali, que non est actus ipsius materie gravis.
- 2.4 Ad hoc dicendum quod ibi est duplex motor, scilicet materialis, ut forma perfectiva ipsius, et immaterialis, ut virtus celestis participata a gravi set ista virtus, prout est in gravi quodammodo materialis et appropriata, est illorum materialis forma, prout supra se recipit immaterialem, quodammodo fit (im)materialis et nobilitatur per receptionem illius forme immaterialis supra se; ideo potest moveri ipsum grave ratione materialis ad immateriale et ratione immaterialis ad materiale.
- 2.5 Primo ergo ostendo propositum geometricae a parte efficientis. Omne enim efficiens agit per suam virtutem quam facit in materiam subiectam, ut lux solis facit suam virtutem in aere, quae est lumen diffusum per totum mundum a luce solari. Et haec virtus vocatur similitudo, et imago, et species et multis nominibus, et hanc facit tam substantia quam accidens, et tam spiritualis quam corporalis. Et substantia plus quam accidens, et spiritualis plus quam corporalis. Et haec species facit omnem operationem huius mundi.
- 2.6 Queritur duodecimo utrum proiectum post exitum a manu proicientis moveatur ab aere vel a quo moveatur. Arguitur quod non moveatur ab aere, quia aer magis videtur resistere eum oporteat ipsum dividi, et iterum si dicas quod proiciens

in principio movebat proiectum et aerem propinquum eum eo et quod ille aer motus movet ultra proiectum ad tantam distantiam, revertetur dubitatio a qua ille aer movetur postquam proiciens desinit movere. Tanta enim est de hoc difficultas sicut de lapide proiecto. Oppositum dicit Aristoteles in octavo huius: si amplius nunc quidem proiecta moventur proiectivo non tangente aut propter antiparistasim (!) sicut quidam dicunt aut ex eo quod pellit pulsus aer velociore motu quam latio pulsus secundum quam fertur in proprium locum. Et idem ipse determinat in septima huius et in isto octavo et tertio caeli.

- 2.7 [Aristotelis] Dicit ergo primo quod virtus motoris violenti utitur aere tanquam quodam instrumento ad ambo, idest ad motum sursum et ad motum deorsum. Aer autem natus est esse levis et gravis [...]. Sic igitur aer, secundum quod est levis, perficiet motum violentum qui est sursum (ita tamen prout movetur, et fuerit principium talis motionis potentia violenti motoris): motum autem qui est deorsum perficit secundum quod est gravis. Virtus enim violenti motoris, per modum cuiusdam impressionis, tradit motum utrique, idest vel aeri sursum moto et deorsum moto, vel etiam aeri et corpori gravi, puta lapidi. Non est autem intelligendum quod virtus violenti motoris imprimat lapidi qui per violentiam movetur, aliquam virtutem per quam moveatur, sicut virtus generantis imprimit genito formam, quam consequitur motus naturalis: nam sic motus violentus esset a principio intrinseco, quod est contra rationem motus violenti. Sequeretur etiam quod lapis, ex hoc ipso quod movetur localiter per violentiam, alteraretur: quod est contra sensum. Imprimat ergo motor violentus lapidi solum motum: quod quidem fit dum tangit ipsum.
- 2.8 Ita possumus et debemus dicere quod lapidi vel alteri proiecto imprimitur talis res, quae est virtus motiva illius proiecti, et hoc apparet melius quam recurrere ad hoc quod aer moveat illud proiectum. Magis enim apparet resistere. Ideo videtur mihi dicendum, quod motor movendo mobile imprimit sibi quandam impetus vel quandam vim motivam illius mobilis ad illam partem ad quam motor movebat ipsum, sive sursum sive deorsum sive lateraliter vel circulariter, et quanto motor movet illud mobile velocius tanto imprimet ei fortiorem impetum. Et ab illo impetu movetur lapis postquam proiciens cessat movere. Sed per aerem resistentem et per gravitatem lapidis inclinantem ad contrarium eius ad quod impetus est natus movere, ille impetus continue remittitur. Ideo continue fit motus illius lapidis tardior, et tandem haec diminuitur vel corrumpitur ille impetus, quod gravitas lapidis obtinet super eum et movet lapidem deorsum ad locum naturalem. Iste modus apparet mihi tenendus, eo quod alii modi non apparent veri et etiam quia huic modo omnia apparentia consonant.
- 2.9 Si quis enim quaerat, quare proicio longius lapidem quam plumam et ferrum vel plumbum manui proportionatum quam tantundem de ligno, dicam quod causa huius est, quia receptio omnium formarum et dispositionum naturalium est in materia et ratione materiae, ideo quanto plus est de materia, tanto illud corpus plus potest recipere de illo impetu et intensius. Modo in denso et gravi ceteris paribus est plus de materia prima quam in raro et levi, ideo densum et grave plus recipit de illo impetu et intensius, sicut etiam ferrum plus potest recipere de caliditate quam lignum vel aqua eiusdem quantitatis. Pluma autem

ita remisse recipit talem impetum, quod statim talis impetus ab aere resistente corrumpitur et ita etiam, si aequae velociter moveantur a proiciente lignum leve et ferrum grave eiusdem quantitatis et eiusdem figurae, ferrum longius movebitur quia imprimitur in eò impetus intensior, qui non ita cito corrumpitur sicut corrumperetur impetus remissior. Et haec est etiam causa, quod difficilius est quietare magnam molam fabri velociter motam quam parvam, scil. quia in magna ceteris paribus est plus de impetu. Et propter idem tu posses longius proicere lapidem de pondere librae vel semilibrae, quam tu posses millesimam partem eius. Impetus enim in illa parte millesima est ita parvus, quod statim ab aere resistente devincitur.

- 2.10 Prima [conclusio] est quod ille impetus non est ille motus localis, quo proiectum movetur, quia ille impetus movet proiectum, et movens facit motum, igitur ille impetus facit illum motum, et idem non facit seipsum [...]. Secunda conclusio est quod ille impetus non est res pure successiva, quia talis res est motus et sibi convenit definitio motus, sicut dictum est alias, et modo dictum est quod ille impetus non est ille motus localis. Item, cum res pure successiva continue corrumpatur et fiat, ipsa indiget continue factore, et non posset assignari factor illius impetus qui esset simul cum eo.
- Tertia conclusio est, quod impetus est res naturae permanentis, distincta a motu locali, quo illud proiectum movetur. Hoc apparet ex praedictis duabus conclusionibus et ex praecedentibus. Et verisimile est, quod ille impetus est una qualitas innata movere corpus, cui impressa est, sicut dicitur quod qualitas impressa ferro a magnete movet ferrum ad magnetem. Et etiam verisimile est, quod sicut illa qualitas mobili cum motu imprimitur a motore, ita ipsa a resistantia vel inclinatione contraria remittitur, corrumpitur vel impeditur sicut et motus.
- 2.11 Et sicut lucidum generans lumen generat lumen reflexive propter obstaculum, sic et ille impetus propter obstaculum movet reflexive. Verum est tamen, quod bene concurrunt cum illo impetu aliae causae ad maiorem et longiorem reflectionem, verbi gratia pila de qua cum palma ludimus cadens ad terram altius reflectitur quam lapis, licet lapis velocius et impetuosius cadat super terram, et hoc est quia multa sunt curvabilia vel intra se compressibilia per violentiam quae velociter ex se innata sunt reverti ad suam rectitudinem vel dispositionem sibi convenientem, et sic revertendo possunt impetuose pellere vel trahere aliquid sibi coniunctum, sicut apparet de arcu.
- 2.12 Et experimentum habetis, quod si mola fabri magna et valde gravis velociter moveretur a te, motu reversionis, et cessares eam movere, adhuc ab ipso impetu acquisito ipsa diu moveretur; imo tu non posses eam statim quietare, sed propter resistantiam ex gravitate illius molae, ille impetus continue diminuatur donec mola cessaret; et forte si mola semper duraret sine aliqua eius diminutione vel alteratione, et non esset aliqua resistantia corrumpens impetum, mola ab illo impetu perpetue moveretur.
- 2.13 Et etiam cum non appareat ex biblia quod sint intelligentiae quae appropriatae moveant corpora caelestia, posset dici quod non apparet necessitas ponendi huiusmodi intelligentias, quia diceretur quod Deus quando creavit mundum, unumquemque orbium caelestium movit sicut sibi placuit et movendo eos

impressit sibi impetus moventes eos absque hoc quod amplius moveret eos, nisi per modum generalis influentiae, sicut ipse concurrit coagendo ad omnia quae aguntur. Sic enim septima die requievit ab omni opere, quod patrarat committendo aliis actiones et passiones ad invicem. Et illi impetus impressi corporibus caelestibus non postea remittebantur vel corrumpebantur, quia non erat inclinatio corporum caelestium ad alios motus, nec erat resistentia quae esset corruptiva vel repressiva illius impetus. Sed hoc non dico assertive, sed ut a dominis theologis petam quod in illis doceant me, quomodo possunt haec fieri.

- 2.14 Et ex istis sequitur, quod necesse est imaginari quod grave a suo motore principali, scilicet a gravitate, non solum acquirit sibi motum, imo etiam acquirit sibi quendam impetum cum illo motu, qui habet virtutem movendi ipsum grave cum gravitate naturali permanente. Et quia ille impetus acquiritur communiter ad motum, ideo quanto est motus velocior, tanto ille impetus est maior et fortior. Sic ergo a principio grave movetur a gravitate sua naturali solum, ideo tarde movetur; postea movetur ab eadem gravitate et ab impetu acquisito simul, ideo movetur velocius; et quia motus fit velocior, ideo etiam impetus fit maior et fortior, et sic grave movetur a gravitate sua naturali et ab illo impetu maiore, simul; et sic iterum movetur velocius, et ita semper continue velocitatur usque ad finem. Et sicut ille impetus acquiritur communiter ad motum, ita communiter minoratur vel deficit, ad minorationem vel defectum ipsius motus.
- 2.15 Et debetis notare quod aliqui vocaverunt illum impetum gravitatem accidentalem; et bene, quia nomina sunt ad placitum unde hoc videtur consonare Aristoteli et Commentator in primo huius, ubi dicunt quod infinita esset gravitas si in infinitum grave moveretur, quia quanto magis movetur, tanto movetur velocius; et quanto movetur velocius, tanto est maior gravitas. Ergo, si haec sit vera, oportet quod grave in movendo acquirat sibi continue gravitatem maiorem; et illa non est eiusdem rationis vel naturae cum gravitate prima naturali, quia prima manet semper, etiam motu cessante, et illa acquisita non manet. Et omnia ista dicta magis apparebunt esse vera et necessaria, quando quaeretur de motibus violentis projectorum et aliorum.
- 2.16 Item, de ce que il dit que la pesanteur est plus grande de tant comme l'isneleté est plus grande, ce n'est pas a entendre de' pesanteur a prendre la pour qualité naturelle qui encline en baso. Quar se une pierre d'une livre descendoit d'une lieue de haut et que le mouvement fust grandement plus isnel en la fin que au commencement, nientmoins la pierre n'avroit plus de pesanteur naturelle pour ce une foys que autre. Mais l'en doit entendre par ceste pesanteur qui crest en descendant une qualité accidentele laquelle est causee par l'enforcement de l'acressement de l'isneleté, si comme j'ay autrefois déclaré ou de Phisique. Et ceste qualité puet estre appellee impetuosité. Et n'est pas proprement pesanteur, quar se un pertuis estoit de ci jusques au centre de la terre et encor oultre, et une chose pesante descendoit par ce pertuis ou treu, quant elle vendroit ou centre, elle passeroit oultre et monteroit par ceste qualité accidentelle et aqoise et puis redescendrait et yroit et vendroit plusieurs foys en la maniere que nous voions d'une chose pesante qui pent a un tref par une longue corde. Et donques n'est

- ce pas proprement pesanteur puisqu'elle fet monter en haut. Et telle qualité est en tout mouvement et naturel et violent toute foys que l'isneleté va en cressant, fors ou mouvement du ciel. Et telle qualité est cause du mouvement des choses jetees quant elles sont hors de la main ou de l'instrument, si comme je ay monsté autrefois sus le de Phisique.
- 2.17 Je di premierement, se l'en lessoit cheoir une pierre par ce treu, elle descendroit et passeroit oultre le centre en montant tout droit vers l'autre partie siques a un terme, et puis retourneroit siques oultre le centre par deça, et apres redescendrait arriere et passeroit le centre moins que devant et iroit et vendroit plusieurs fois en appetizant teles reflexions siques a tant que finalement elle reposerait ou centre.
- 2.18 Et pour ce, mouvement violent a trois estas ou trois parties: une est quant la chose meue est conjointe avecques l'instrument qui fait la violence, et lors le isnelleté va en cressant, et la génération ou cressement de isnelleté va aussi en cressant, se il n'i a empeschement par accident; et par ce que dit est, s'ensuit que l'acressement de ceste qualité ou redeur va aussi en cressant. Secondement, quant la chose meue violement est séparée de tel instrument ou premier motif, encor va isnelté en cressant; mes la generacion ou forcement ou cressance de ceste isnelleté vient en appetizant et finalement cesse; et lors le isnelleté ne crest plus, ne celle qualité ou redeur. Et commence le tiers estat; et lors, la qualité naturelle de la chose meue, si comme est pesanteur, fait appeticer ceste qualité ou redeur qui enclinoit contre le mouvement naturel de la chose, et va le mouvement en retardant et la violence en appetissant, et finalement cesse. Et par ceste maniere, et non par autre quelconque, l'en peut rendre cause de toutes les apparences et de toutes les experiences que l'an voit en mouvemens violens, soit droit en haut ou droit en bas ou en travers ou circulaires, quant a leur isnelleté ou tardiveté, et réflexion et retour, et quant à telles toutes choses desquelles l'en ne peut assigner autre cause souffisante, si comme J'ay autrefois declairé plus à plain.
- 2.19 Car se un homme estoit en une nef meue vers orient tres isnelement sans ce que il appareust ce mouvement et il tiroit sa main en descendant et en descriisant une droite ligne contre le maast de la nef, il lui sambreroit que sa main ne fust meue fors de mouvement droit; et ainsi, selon cest opinion, nous semble il de la saette qui descent ou monte droit en bas ou en haut. Item, dedens la nef ainsi meue, comme dit est, peuent estre mouvemens du lonc, du travers, en haut, en bas et en toutes manieres, et semblent estre du tout comme se la nef reposast.

Quotations of Chapter 3

- 3.1 Ma egli è di tanta necessità questa geometrica disciplina e scientia che non solamente noi huomini mortali nelle nostre cose commensurabili usamo quella, come più volte è stato detto; ma anchora il magno Iddio, il quale è misura di tutte le cose, in formar le parti del corpo humano, non si governa senza quella,

- con la quale, anchora questi Compositori de imagini, & Pittori eccellenti si conformano, ad ogni membro usando el suo compasso.
- 3.2 Le cose create sian nostro specchio e ninna si troverà che sotto numero peso e misura non sia costituita come è ditto da Salomone secondo de la sapientia.
 - 3.3 Signore, vi sono dubbii assai, che à volergli à sofficientia delucidare, à me saria necessario prima à dechiarare à vostra Signoria li principii della scientia di pesi.
 - 3.4 Eglie ben vero, che lui approva cadauna de dette questioni, parte con ragioni, e argomenti naturali, e parte con ragioni, e argomenti Mathematici. Ma alcuni di quelli suoi argomenti naturali, con altri argomenti naturali vi si puol opponere. Et alcuni altri con argomenti Mathematici (mediante la scientia di pesi detta disopra) se possono reprobar per falsi.
 - 3.5 Et per questo, e altri simili rispetti, el Mathematico non accetta, ne consente alle dimostrazioni, over probationi fatte per vigor, e autorita di sensi in materia, ma solamente à quelle fatte per dimostrazioni, et argomenti astrati da ogni materia sensibile. Et per questa causa, le discipline Mathematiche non solamente sono giudicate dalli sapienti esser piu certe delle naturale, ma quelle esser anchora nel primo grado di certezza. Et pero quelle questioni, che con argomenti Mathematici se possono dimostrare, non è cosa conveniente ad approbarle con argomenti na-turali. Et simelmente quelle, che sono già dimostrate con argomenti Ma-thematici (che sono piu certi) non è da tentare, ne da persuader si de certificarle meglio con argomenti naturali, li quali sono men certi.
 - 3.6 Hor voria Tartaglia, che me incomenciasti à dechiarire ordinariamente quella scientia de pesi, di che me parlasti hieri. Ma, perche conosco tal scientia non esser semplicemente per se (per non esser le arte liberale, salvo che sette) ma subalternata, voria che prima me dicesti, da che scientia, over disciplina quella derivi, e nasci.
 - 3.7 Signor Clarissimo parte di questa scientia nasce, over deriva dalla Geometria, e parte dalla Natural Philosophia: perche, parte delle sue conclusioni se dimostrano Geometricamente, e parte se approvano Physicalmente, cioe naturalmente.
 - 3.8 Questo medemo se verifica ancora in cadauno che vada verso un loco desiato che quanto più va approssimando al deto loco, tanto piu se va allegrando, e piu se sforza di camminare, como appar in un pellegrino, che venga dalcun luoco lontano che quando è propinquo al suo paese, se sforza naturalmente al caminar a piu poter e tanto piu quanto piu vien di lontan paesi pero il corpo grave fa il medesimo andando verso il suo proprio nido, che è il centro del mondo; e quanto piu vien di lontano in esso centro, tanto piu (giongendo a quello) andaria veloce.
 - 3.9 Questo medemo se verifica in cadauno che sia violentemente menato verso a un luoco da esso odiato: che quanto piu se va approssimando al detto luoco tanto piu se va atristando in la mente et piu cerca de andar tardigando.
 - 3.10 A benche niun transito over moto violente d'un corpo egualmente grave che sia fuora della perpendicolare del orizzonte mai puol haver alcuna parte che sia perfettamente retta per causa della gravita che se ritrova in quel tal corpo: la quale continuamente lo va stimulando, et tirando verso il centro del mondo.

- 3.11 L'impeto è una virtù trasmutata dal motore al mobile, e mantenuta dall'onda, che tal motore genera dell'aria infra l'aria; e questa nasce dal vacuo, che, contro alla naturale legge, si genererebbe, se l'aria antecedente non riempiesse il vacuo, donde si fugge l'aria scacciata del suo sito dal predetto motore; e tale aria antecedente non riempirebbe il sito, donde si divide essa antecedente, se un'altra quantità d'aria non riempiesse il sito donde tale aria si divide; e così è necessario che successivamente seguiti.
- 3.12 Resta infusa nel mobile la potenza del suo motore, poi che da esso motore fia separato, della qual potenza integralmente il motore riman privato; la qual potenza resta impressa nel mobile, non con equal virtù, perché sarebbe senza moto, ma con virtù applicata da quella parte, donde si divide dal suo motore e non in nessuna parte dell'aria che circonda il mobile, ma dentro alla sua superficie, imperoché, se tale aria fusti quella che spignessi il mobile, tu vedresti la palla dello scoppietto, poi ch'ella è penetrata nell'otro pien d'acqua, e essa immediate perderebbe la potenza del moto, perchè in tal penetrazione, subito si spicca e divide dall'aria, perchè, subito che tal pallotta è dentro all'acqua, essa acqua si rinchiede di retro alla pallotta e la divide dall'aria.
- 3.13 La virtù del motore si separa integralmente da lui e s'applica al corpo da esso mosso, e si va col tempo consumando nella penetrazione dell'aria che dinanzi al mobile sempre si condensa. E questo accade perché ogni impressione si riserva lungamente nello oggetto ove si impreme, come si vede ne' cerchi, che dentro alla superficie dell'acqua si creano per la percussione di quella, che per lungo spazio infra l'acqua si muovono.
- 3.14 La ragione di questo si è che quando il peso si parte dalla forza del suo motore [...] trovando l'aria senza moto, egli la truova in primo grado di sua resistentia, non di meno percotendone piccola parte viene a rimaner vincitore. Onde la caccia del suo sito e nel cacciarla impedisce alquanto la sua velocità. Essendo adunque quest'aria sospinta, ella ne sospingie e caccia dell'altra e genera dopo sé circolari movimenti da quali il peso mosso in essa è sempre cinto a similitudine de' cerchi fatti nell'acqua [...] E così cacciando l'un cerchio l'altro, l'aria ch'è dinanzi al suo motore tutta per quella linea è preparata al movimento, el quale tanto più cresce quanto più se le appressa il peso ch'ella caccia. Onde trovando esso peso men resistentia d'aria con più velocità raddoppia suo corso, a similitudine della barca tirata per l'acqua; la quale si muove con difficoltà nel primo moto benché el suo motore sia in nella più potente forza; e quando essa acqua con arcate onde comincia a pigliare moto, la barca seguitando esso moto trova poca resistentia onde si muove con più facilità. Similmente la pallotta trovando poca resistentia seguita il principiato corso insino a tanto che, abbandonata alquanto dalla prima forza, comincia a debolire e declinare [...] insino a tanto che ripigliando il moto naturale si rifà di più velocità; la barca torciendosi tarda ancora lei suo corso. Ora io conchiudo [...] che quella parte del moto che si trova tra la prima resistentia dell'aria e il principio della sua declinatione sia di maggiore potentia e questo è 'l mezo del cammino el quale è fatto per l'aria con retta e diritta linea.

- 3.15 Quello sasso altra cosa ponderosa ch'essia gittato con furia mutera la linea del suo corso amezzo il campanile. esse tu conoscie una tua balestra traga 200 braccia ponti lontano da uno campanile 100 braccia e poni la mira al di sopra desso, campanile etrai la tua saetta, e vederai che in ciento, braccia di la da esso campanile la freccia fia fitta per linea perpendicolare essechosi latrivi essegnio che quela aveva finito il moto violente e nentrava nel moto naturale.
- 3.16 La gravità, la forza, e 'l moto accidentale, insieme alla percussione son le quattro accidentali potenzie, colle quali tutte le evidenti opere de' mortali hanno lor essere o lor morte.
- 3.17 Forza dico essere una virtù spirituale, una potenza invisibile, la quale per accidentale esterna violenza è causata dal moto e collocata e infusa ne' corpi, i quali sono dal loro naturale uso [la quiete] ritratti, dando a quelli vita attiva di maravigliosa potenza; costringe tutte le create cose a mutazione di forma e di sito, corre con furia alla sua desiderata morte e vassi diversificando mediante le cagioni. Tardità la fa grande e prestezza la fa debole, nascie per violenza e muore per libertà e quanto è maggiore più presto si consuma. Scaccia con furia ciò che si oppone a sua disfazione, desidera vincere, occidere la sua cagione, il suo contrasto e, vinciendo se stessa occide, fassi più potente dove trova maggior contrasto. Ogni cosa volentieri fugie la sua morte. Essendo costretta, ogni cosa costringie. Nessuna cosa senza lei si muove. Il corpo dove nascie non cresce ne' in peso ne' in forma.
- 3.18 Tutto questo procede, perche ogni corpo grave spinto violentemente per aere, quanto piu va veloce, tanto piu in tal moto se fa men grave, e pero va piu rettamente per aere, perche lo aere piu facilmente sustenta un corpo quanto piu eglie leve, tamen nel far di suoi effetti in tal moto assume molto maggior gravita della sua propria, e pero quanto piu un corpo grave va veloce (nel moto violente) tanto maggior effetto fa in ogni resistente. Similmente quanto piu va mancando in quello la velocita, tanto piu in tal moto gli va crescendo la gravita, la qual gravita, continuamente lo va stimulando, & tirando verso terra. Ma nel far de suoi effetti in tal moto assume maggior levita, over minor gravita, e pero fa minor effetto.
- 3.19 Hor per conchiuder il nostro proposito, supponeremo che tutto il transito, over viaggio che debbia far, over che habbia fatto la balla tirata dalla sopradetta colobrina sia tutta la linea .a.b.c.d. & se possibil è che in quello sia alcuna parte che sia perfettamente retta, poniamo che quella sia tutta la parte .a.b. la qual sia divisa in due parti eguali in ponto .e. & perche la balla transira piu veloce per il spacio .a.e. (per la terza propositione del primo, della nostra nuova scientia) di quello fara per il spacio .e.b. Adunque la detta balla andara piu rettamente, per le ragioni di sopra adutte, per il spacio .a.e. di quel lo fara per il spacio .e.b. onde la linea .a.e. saria piu retta della .e.b. la qual cosa è impossibile, perche se tutta la .a.b. è supposta esser perfettamente retta, la mitade di quella non puol esser ne piu ne men retta dell'altra mitade, & se pur l'una mitade sara piu retta dell'altra seguita necessariamente quell'altra mitade non esser retta, e pero seguita de necessita, la parte .e.b. non esser perfettamente retta. Et se pur alcuno havesse anchora opinione che la parte .a.e. fusse pur perfettamente

- retta, tal opinione se reprobara per falsa, per li medesimi modi [...] perche questo procedere è infinito seguita di necessita che non solamente tutta la .a.b. non è perfettamente retta, ma che alcuna minima parte di quella non puo esser perfettamente retta, che è il proposito.
- 3.20 Voglio inferir questo, che ogni artigliaria essendo alivellata, la se intende esser nel sito della equalita, & la balla tirata da quella, in tal sito uscisse del pezzo piu grave, che in qualunque altro modo ellevata, over separata da quel sito della equalita (per le ragioni di sopra adutte) e pero in tal sito la balla va con piu difficultà, & molto piu presto comincia à declinar al basso, cioè verso terra, & in maggior quantita lei va declinando, che in qualunque altro modo ellevata, cioè che lei va (come fra bombardieri se dice) molto manco per linea retta, che in qualunque altro modo ellevata, e pero li effetti di tiri fatti in tal sito saranno men vigorosi, over di menor effetto, che in qualunque altro verso.
- 3.21 Sed nos magis indigemus prima, quae est simplicissima, & etiam non tantas difficultates patitur: & cum supponitur, quod omne quod movetur, ab aliquo movetur verissimum est: sed illud quod movet, est impetus acquisitus, sicut calor in aqua, qui est ibi praeter naturam ab igne inductus, & tamen igne sublato, manum tangentis exurit.
- 3.22 Causa est, quam nemo alius afferre potest, quam qui ab hoc principio, quod Aristoteles proposuit, motum factum putat: nam aer ille sub intio motus motum non iuvat, nisi parum, succedente tempore aeris motus naturalis ut movetur validior fit, ut autem movet, parum dehiscit: quare eodem motus celeritatem augeri necesse est, quoad plus movere minus incipit, quam moveri natura sit aptum.
- 3.23 Cum vero pila ad supremum rectà pervenerit, non per circulum, nec rectà sursum illico descendit, sed media quasi linea, quae parabolae ferme imitatur circum ambientem lineam, ut BC est, demum ex C in D motu gravis rectà ad unguem. Quae igitur proiciuntur, tribus ex motibus constant, primo violento, ultimo exquisite naturali, & medio ex utroque misto: propter tam multiplicem motus rationem metiri ad unguem talia planè est impossibile, coniectura tamen assequi licet.
- 3.24 Nempe quia omne corpus grave, aut sui natura, aut vi motum, in se recipit impressionem & impetum motus, ita ut separatum a virtute movente per aliquod temporis spacium ex seipso moveatur.
- 3.25 Aristo 8 cap. primi lib. de coelo, dicere non deberet quanto proprius accedit corpus ad terminum ad quem, tanto magis fit velox, sed potius, quanto longius distat a termino a quo tanto velocius existit, quia tanto maior fit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, & continuo novum impetum recipit, & cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit.
- 3.26 Porro suppono proportionem motus corporum similium sed diversae homogeneitatis in eodem medio atque aequali spatio esse quae est inter excessum (in ponderositate inquam vel levitate) supra illud medium, dummodo formam aequalem illis corporibus sortitum fuerit. Et e converso scilicet quod

- proportio existens inter excessus supra medium ut dictum est, eandem esse quae intermotus illorum corporum.
- 3.27 Modo dico quod si fuerint duo corpora eiusdem formae eiusdem specie, aequalia invicem vel inaequalia, per aequale spacium in eodem medio in aequali tempore ferentur. Haec propositio manifestissima est, quia si non in aequali tempore moverentur, essent necessario diversarum specierum corpora illa, per conversum praemissae suppositionis, aut medium non daretur uniforme vel spatia essent inequalia: quae omnia pugnarent cum hypothesi.
- 3.28 Patet igitur quod corpora eiusdem speciei, licet inequalia, aequali velocitate moveretur.
- 3.29 Praetera dico quod si diversae etiam essent specie, ponderisque diversi, eadem motus celeritate moventur corpora illa.
- 3.30 Quod supradicta corpora in vacuo naturaliter pari velocitate moverentur hac ratione assero. Sint enim duo corpora .o. et .g. omogenea, et .g. sit dimidia pars ipsius .o. sint alia quoque duo corpora .a. et .e. omogenea primis, quorum quodlibet aequale sit ipsi .g. et imaginatione comprehendamus ambo posita in extremitatibus alicuius lineae, cuius medium sit .i. clarum erit, tantum pondus habiturum, punctum .i. quantum centrum ipsius .o. quod .i. virtute corporis a. et .e. in vacuo, eadem velocitate moverentur, qua centrum ipsius .o. cum autem disiuncta essent dicta corpore .a. et .e. a dicta linea, non ideo aliquo modo suam velocitatem mutarent, quorum quodlibet esset quoque tam velox, quam est .g. igitur .g. tam velox esset quam .o.
- 3.31 Cum ergo motus circularis sit universorum, partium vero etiam rectus, dicere possumus manere cum recto circularem, sicut cum aegra animal.
- 3.32 Equidem extimo, gravitatem non aliud esse, quam appetentiam quandam naturalem partibus inditam a divina providentia opificis universorum, ut in unitatem integritatem suam sese conferant in formam globi coeuntes. Quam affectionem credibile est etiam Soli, Lunae, caeterisque errantium fulgoribus in esse, ut eius efficacia in ea qua se repraesentant rotunditate permaneant, quare nihilominus mutis modis suos efficiunt circuitus.
- 3.33 Esti Copernicus magis placet Terram & terrena omnia, licet avulsa a Terra, una & eadem anima motrice informari, quae Terram corpus suum rotans, rotet etiam una particulas istas, a corpore suo avulsas; ut sic per motus violentos vis fiat huic animae per omnes particulas diffusae, quemadmodum ego dico, vim fieri facultati corporea (quam gravitatem dicimus, seu Magneticam) itidem per motus violentos cit.

Quotations of Chapter 4

- 4.1 Mai (per non far errore) ho voluto determinar cosa alcuna per minima che ella sia, se prima io non vedeva con effetto che la esperienza si confrontasse apunto con la demonstratione, e di ogni minima cosa ne ho fatto la sua esperienza. Dove ho anco fatto una libra la quale mi mostra verissimamente che havendo il centro

nel mezzo di essa, mossa la libra dove si vuole, sta ferma dove si lascia, come dice la 4ta proposizione (De libra) nel mio libro della mechaniche, che è cosa che dà fastidio a molti che non l'hanno saputa far materialmente. In somma questa è cosa sicurissima che la pratica con la theorica vanno sempre insieme, né si discostano punto l'una dall'altra; et di più le dico che la dimostrazione mi ha insegnato assai come si hanno da far l'esperienze, sopra le quali per chiarirsi bene bisogna considerar molte cose: 1° che gli in strumenti siano piccoli più presto che grandi, come per essemplio le taglie con le sue girelle, che se fusse possibile di farle di ottone con li sui assi di ferro, sottili sottili; et che le girelle siano benissimo tornite, le quali non balassero attorn'agli assi, ma però che girassero con un soffio se fosse possibile, questo sarebbe benissimo. Perché le taglie grandi, che sono atte a levar gran pesi, non sono così buone a chiarirsi delle minutezze, sì come si mostra con essemplio chiaro nelle bilancie che, per chiarirsi d'ogni minutia, bisogna tuor quelle piccoline da pesar li scudi, et non quelle di legno grande, che si pesano cose grosse come carne et simili, se ben tutte sono giuste.

- 4.2 Reperiuntur enim aliqui, nostraque; aetate emunctae naris mathematici, qui mechanicam, tum mathematice seorsum, tum phisice considerari posse affirmant; ac si aliquando, vel sine demonstrationibus geometricis, vel sine vero motu res mechanicæ considerari possint: qua sane distinctione (ut levius cum illis agam) nihil aliud mihi comminisci videntur, quam ut dum se, tum phisicos, tum mathematicos proferant, utraque (quod aiunt) sella excludantur. neque enim amplius mechanica, si a machinis abstrahatur, & seiungatur, mechanica potest appellari.
- 4.3 Animalem quoque vim, quae motum sideri inferat sedentem in mobili planetae corpore, toties intendi & remitti citra fatigationem & fenium, id forsitan erit absurdum dictu. Adde quod intelligi nequit, quomodo vis haec animalis corpus suum per spacia mundi transvectet, cum nulli sint orbes ut Tycho Brahe demonstravit: sed neque alarum aut pedum adminicula adsint, rotundo corpori quorum; motatione, anima, hoc suum corpus per auram aetheriam, ceu aves per aerem, nisu quodam, & contranisu illius aerae, transportet.
- 4.4 Intelligimus enim hinc, quod Planetæ pene ratione statera seu vectis moveantur. Nam si Planeta, quo longior a centro, hoc difficilium (utique tardius) a centri virtute movetur: equidem perinde est, ac si dicerem, pondus, quo longius exeat ab hypomochilio, hoc reddi ponderosius; non seipso, sed propter virtutem brachii sustentantis in hac distantia. Utrique namque & hic in statera seu vecte, & illic in motu Planetarium, haec debilis sequitur proportionem distantiarum.
- 4.5 Si pro voce anima vocem vim substituas, habes ipsam simum principium, ex quo physica coelestis in Comment. Martis est constituta et lib. IV. Epitomes Astr. exculta. Olim enim causam moventem planetas absolute animam esse credebam quippe imbutus dogmatibus I. C. Scaligeri de motricibus intelligentiis At cum perenderem hanc causam motricem debilitari cum distantia, lumen solis etiam attenuari cum distantia a Solis: hinc conclusi vim hanc esse corporeum aliquid, si non proprie, saltem aequivoce.

- 4.6 Nam quia virtus illa, ex Sole et Planetas exporrecta, in gyrum illos movet circa Solis corpus intransportabile, fieri id aut cogitatione comprehendi nullo alio modo potest quam hoc, ut virtus eandem viam eat, quam alios Planetas omnes abripit. [...] Quin potius illam in plagam feruntur corpora Planetarum perpetuo, in quam virtus ista ex Sole emanans contendit. Cum autem species haec immateriata sit, sine temporis mora ex corpore suo in hanc distantiam egressa, & luci per omnia reliqua similis; [...] quam in plagam mundi vergit una aliqua particula corporis Solaris, in eandem plagam perpetuo vergat etiam particula speciei immateriatae, quae illi particulae corporis ab initio creationis respondebat. Nisi hoc esset; species non esset, nec rectis sed curvis lineis a corpore delaberetur.
- 4.7 Nam si nulla esset inertia in materia globi coelestis, quae sit ei velut quoddam pondus, nulla etiam opus esset virtute ad globum movendum: et posita vel minima virtute ad movendum, iam causa nulla esset, quin globus in momento verteretur. Iam vero cum globorum conversiones fiant in certo tempore, quod in alio planeta est longius, in alio brevis, hinc appareret, inertiam materiae non esse ad virtutem motricem, ut nihil ad aliquid.
- 4.8 Corpus quodlibet semel motum, si nihil obsed, pergere moveri eadem perpetuo celeritatee & secundum lineam rectam.
- 4.9 Si come è impossibile che un grave o un composto di essi si muova, naturalmente all'in su, discostandosi dal comun centro verso dove conspirano tutte le cose gravi, così è impossibile che egli spontaneamente si muova, se con tal moto il suo proprio centro di gravità non acquista avvicinamento al sudetto centro comune: Onde sopra l'orizzontale, che qui s'intende per una superficie egualmente lontana dal medesimo centro, e perciò affatto priva d'inclinazione, nullo sarà l'impeto o momento di detto mobile.
- 4.10 Sit itaque planum horizonti aequidistans secundum lineam ab, cui ad rectos angulos sit bc, et mobile sit sphaera e; sit autem quaecunque vis f: dico, sphaeram c, nullam extrinsecam et accidentalem resistentiam habentem, posse per planum ab moveri a minori vi quam sit vis f. Sit vis n, quae potest sursum trahere pondus e; et sicut vis n ad vim f; ita sit ad linea ad lineam db. Ex his, itaque, quae supra demonstrata sunt, poterit sphaera e sursum trahi per planum ad a vi f: ergo per planum ab a minori vi, quam sit f; movebitur sphaera e. Quod fuit demonstrandum.
- 4.11 SALV. Ma di che sorte di movimento? di continuamente accelerato, come ne' piani declivi, o di successivamente ritardato, come negli acclivi?
 SIMP. Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non vi essendo né declività né acclività.
 SALV. Sì. Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete: quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?
 SIMP. Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.
 SALV. Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?
 SIMP. Parmi di sí, quando il mobile fusse di materia da durare.
 SALV. Già questo si è supposto, mentre si è detto che si rimuovano tutti

- gl'impedimenti accidentarii ed esterni, e la fragilità del mobile, in questo fatto, è un degli impedimenti accidentarii.
- 4.12 Attendere in super licet, quod velocitatis gradus, quicunque in mobili reperiatur, est in illo suapte natura indelebiliter impressus, dum externaе causae accelerationis aut retardationis tollantur, quod in solo horizontali plano contingit; nam in plani declivibus adest iam causa accelerationis maioris, in acclivius vero retardationis; ex equo pariter sequitur, motum in horizontali esse quoque aeternum.
- 4.13 Non si può negare che il discorso sia nuovo, ingegnoso e concludente, argomentando ex suppositione, supponendo cioè che il moto trasversale si mantenga sempre equabile, e che il naturale deorsum parimente mantenga il suo tenore, d'andarsi sempre accelerando secondo la proporzion duplicata de i tempi, e che tali moti e loro velocità, nel mescolarsi, non si alterino perturbino ed impedischino, sì che finalmente la linea del proietto non vadia, nella continuazion del moto, a degenerare in un'altra spezie: cosa che mi si rappresenta come impossibile.
- 4.14 Salvati: [...] e perché la causa motrice non è una sola, che si abbia, per la nuova operazione, a inlanguidire, ma son due tra loro distinte, delle quali la gravità attende solo a tirare il mobile al centro, e la virtù impressa a condurlo intorno al centro, non resta occasione alcuna d'impedimento.
- 4.15 Sagredo: [...] tutti questi tiri si spedirebbero in tempi eguali tra di loro, e ciascheduno eguale al tempo che la palla consumerebbe a venire dalla bocca del pezzo sino in terra, lasciata, senz'altro impulso, cadere semplicemente giù a perpendicolo. Or par meravigliosa cosa che nell'istesso breve tempo della caduta a piombo sino in terra dall'altezza, verbigrizia, di cento braccia, possa la medesima palla, cacciata dal fuoco, passare or quattrocento, or mille, or quattromila, ed or diecimila braccia, sí che la palla in tutti i tiri di punto bianco si trattenga sempre in aria per tempi eguali.
- 4.16 Da ciò è manifesto che, per converso, in un proietto lanciato dall'estremo d si richiede minor impeto per [descrivere] la semiparabola db che per [descrivere] qualsiasi altra semiparabola con elevazione maggiore o minore dell'elevazione della semiparabola db, [elevazione fatta] secondo la tangente ad, che forma sopra l'orizzonte un angolo semiretto. Stando così le cose, risulta che, se dall'estremo d vengono lanciati proietti con un medesimo impeto, ma secondo differenti elevazioni, la proiezione massima, ossia la semiparabola o parabola intera di massima ampiezza, sarà quella che verrà fatta con l'elevazione di mezzo angolo retto; invece tutte le altre, fatte ad angoli maggiori o minori, saranno minori.
- 4.17 Dico più oltre, che considerato il mobile, che da un prociente viene spinto verso alcuna parte, se non avesse altra virtù motrice, che lo cacciasse verso un'altra banda, andrebbe nel luogo segnato dal prociente per dritta linea, mercé della virtù impressali pur per dritta linea, dalla quale dirittura non è ragionevole, che il mobile si discosti, mentre non vi è altra virtù motrice, che non lo rimuova. e ciò quando tra li duo termini non sia impedimento [...]. Essendo due adunque nel proietto le virtù motrici, una la gravità, l'altra la virtù impressa, ciascuna di

loro separatamente farebbe ben camminare il mobile per linea retta, come si è detta, ma accoppiate insieme non lo faranno andare per linea retta [...]. Hora nel grave, che, spiccandosi dal prociente, viene indirizzato verso qualsiasi parte, per essemplio, mosso per una linea elevata sopra l'Orizzonte, vi è bene la gravità, che opera, ma quella non fa altro, se non per quanto viene il grave allontanato dal centro della terra, astraendo adunque nel grave la inclinazione al centro di quella, come anco ad altri luogo, egli resta indifferente al moto conferitogli dal prociente, e perciò se non vi fosse l'impedimento dell'ambiente, quello sarebbe uniforme.

- 4.18 Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder cosí, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma.
- 4.19 Se dunque saranno dui, de quali l'uno si trova dentro la nave che corre, et l'altro fuori di quella: de quali tanto l'uno quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria; et da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora, l'uno lascie scorrere una pietra, et l'altro un'altra; senza che gli donino spinta alcuna: quella del primo senza perdere punto, né deviar da la sua linea, verra al prefiso loco: et quella del secondo si trovarra tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra che esce dalla mano del uno che e sustentato da la nave, et per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa quale non ha l'altra che procede da la mano di quello che n'è di fuori, benché le pietre abbino medesima gravità, medesimo aria tramezzante, si partano (se possibil sia) dal medesimo punto, et patiscano la medesima spinta. Della qual diversità non possiamo apportar altra ragione, eccetto che le cose che hanno fissione o simili appartenenze nella nave, si moveno con quella: et la una pietra porta seco la virtù del motore, il quale si muove con la nave. L'altra di quello che non ha detta partecipazione.
- 4.20 *Movebuntur autem eadem celeritate non solu gravia inaequalia et homogena, sed etiam eterogena, ut lignum et plumbum. Cum enim antea ostensum fuerit, magna et parva homogena aequaliter moveri, dicas: Sit b sphaera lignea et a plumbea, adeo magna, ut, cum in medio habeat cavitatem pro b, sit tamen gravior quam sphaera solida lignea ipsi a aequalis, ita ut per adversarium velocius moveatur quam b: ergo in cavitate i ponatur b, tardius movebitur quam cum erat levior; quod est absurdum.*
- 4.21 Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportione che si discosta dal principio del suo moto; come v. g. cadendo il grave dal termine a per la linea abcd, suppongo che il grado di velocità che ha in c al grado di velocità che hebbe in b esser come la distanza ca alla distanza ba, et cosí conseguentemente in d haver grado di velocità maggiore che in c secondo che la distanza da è maggiore della ca.

- 4.22 Qui è manifesto, tanto esser l'impeto del descendere d'un grave, quanta è la resistenza o forza minima che basta per fermarlo: per tal forza e resistenza, e sua misura, mi voglio servire della gravità di un altro mobile.
- 4.23 Un manoscritto del Galileo in più quinternetti in ottavo, intitolato fuori sulla coperta *De motu antiquiora*, il quale si riconosce esser dei primi giovenili studi di lui, e per i quali nondimeno si vede, che fin da quel tempo non sapev'egli accomodare 'l libero 'ntelletto suo all'obligato filosofare della comune delle scuole. Quello però di più singolare, che è sparso in tal manoscritto, tutto, come si vede, l'incastrò poi egli stesso. opportunamente, a' suo' luoghi, nell'opere che egli stampò.
- 4.24 Quapropter, ut huiusmodi captiones aufugiamus, ea dicenda erunt inter se aequae gravia, quae, cum fuerint aequalia in mole, erunt etiam aequalia in gravitate: unde si accipiamus duo plumbi frustra, quae aequalia sint in mole, in gravitate quoque congruentia, ista vere dicenda erunt aequae ponderare. Unde manifestum est, quod lignum non est dicendum aequae grave ac plumbeum frustrum enim ligni, quod cum plumbi frustrum aequaeponderet, longe plumbeum frustrum in mole excedet.
- 4.25 Sint duo mobilia eiusdem speciei, a quidem maius, b vero minus; et, si fieri potest per adversarium, ab citius moveatur quam b. Sunt igitur duo mobilia quorum alterum citius movetur; ergo, ex suppositione, compositum ex utrisque tardius movebitur ex parte quae, sola, altera citius movebatur. Si ergo a, b componantur, compositum tardius movebitur quam a solum: sed compositum ex a et b maius est quam a solum: ergo, contra adversarios, maius mobile tardius movebitur quam minus; quod quidem esset inconveniens. Quid ergo clarius exquirimus de falsitate opinionis Aristotelis? Sed, quae, cui, simpliciter et naturaliter hoc intuenti, veritas non statim cognoscitur?
- 4.26 Et hanc veram existimo causam accelerationis motus: quam quidem cum excogitasset, et, post duos menses, forte quae ab Alexandro de hac re scribuntur legere, ex eo intellexi, hanc quoque fuisse sententiam doctissimi illius philosophi a doctissimo viro laudati, a Ptolemaeo, nempe, a quo magni habetur et summis laudibus per tota suae magnae Constructionis extollitur Hipparchus. Hanc itaque, referente Alexandro, credidi Hipparchus quoque causam esse accelerationis motus naturalis: verum, quia nihil amplius addidit supra id quod diximus, manca quidem visa haec est opinio, et, ob id, digna ut re-praehendatur a philosophis est habita; quippe quae tantummodo locum habeat in motibus illis naturalibus quibus violentus praecesserit, nec tribui possit illi motui qui violentum non sequitur. [...] Nos vero et ea quae ab Hipparco explicata non sunt addemus, ostendendo, quomodo etiam in motu, sui non praecessit violentus, causa eadem locum habeat; ipsamque ab omni.
- 4.27 Quando enim etiam de manu, nulla vi sursum impellente impressa, decidit lapis, cum tanta virtute impressa discedit, quanta est sua gravitas. Nam quando lapis in manu alicuius quiescit, tunc non est dicendum, lapidem habentem, nullam vim in lapide imprimere: quia enim lapis sua gravitate deorsum premit, necesse est ut altera tanta vi a manu sursum impellatur, nec maiori nec minori.

- 4.28 Ex his quae hactenus scripta sunt, facile erit unicuique causam invenire, cur gravia in suis naturalibus motibus non servent proportiones illas quas, cum de hoc ageremus, illis assignavimus; proportiones, inquam, suarum gravitatum, quas habent in medio per quod moventur. Cum enim in principio motus non secundum gravitatem suam moveantur, cum a virtute contraria impediuntur, mirum profecto non erit, si gravitatum proportiones non servent celeritates; imo vero, quod certo mirabile videtur, leviora gravioribus citius in principio descendant.
- 4.29 Sagredo: [...] Quando dunque voi reggete in mano una pietra, che altro gli fate voi che l'imprimerli tanta virtù impellente all'insù, quanta è la facoltà della sua gravità traente in giù? e questa vostra virtù di conservargliela impressa per tutto il tempo che voi la sostenere in mano? si diminuisce ella forse per la lunga dimora che voi la reggete? e questo sostentamento che vieta la scesa del sasso, che importa che sia fatto più dalla vostra mano, che da una tavola, o da una corda dalla quale ci sia sospeso? Certo niente. Concludete pertanto, Sig. Simplicio, che il precedere alla caduta del sasso una quiete lunga o breve o momentanea, non fai differenza alcuna, sì che il sasso non parta sempre affetto di tanta virtù contraria alla sua gravità, quanta appunto bastava a tenerlo in quiete.
- 4.30 Imperò che, quanto alla velocità, secondo che questa sarà maggiore, maggiore sarà il contrasto fattogli dall'aria; la quale anco impedirà più i mobili secondo che saranno men gravi: talché, se bene il grave discendente dovrebbe andare accelerandosi in duplicata proporzione della durazion del suo moto, tuttavia, per gravissimo che fusse il mobile, nel venir da grandissime altezze sarà tale l'impedimento dell'aria, che gli torrà il poter crescere più la sua velocità, e lo ridurrà ad un moto uniforme ed equabile; e questa adeguazione tanto più presto ed in minori altezze si otterrà, quanto il mobile sarà men grave.
- 4.31 Forse stima che la filosofia sia un libro e una fantasia d'un uomo, come l'Iliade e l'Orlando furioso? [...] La filosofia è scritta. in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere caratteri, co' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.
- 4.32 E se s'incontrerà che gli accidenti che poi saranno dimostrati si verificano nel moto de i gravi naturalmente discendenti ed accelerati, potremo reputare che l'assunta definizione comprenda cotal moto de i gravi, e che vero sia che l'accelerazione loro loro vadia crescendo secondo che cresce il tempo e la durazione del moto.
- 4.33 La gravità ne i corpi naturali è una fontana, dalla quale, continuamente scaturiscono momenti. Il nostro grave produce in ogni istante di tempo una forza di cento libbre, adunque in dieci istanti, o per dir meglio in dieci tempi brevissimi produrrà dieci di quelle forze di cento libbre l'una, se però si potessero conservare. Ma sin tanto che egli poserà sopra un corpo, che lo sostenga, non sarà mai possibile di aver l'aggregato delle forze, che desideriamo, tutte insieme; poiché

- subito quando la seconda forza, o momento nasce, la precedente è già svanita, o per così dire è stata estinta dalla contrarietà repugnante del piano sottoposto, il quale nel medesimo tempo, in che nascono detti momenti, gli uccide tutti successivamente un dopo l'altro.
- 4.34 Aprasi la scaturigine della gravità. Sollevisi la palla grave in alto, in maniera tale che possa poi quando ella ricaderà all'ingiù dimorare per l'aria dieci istanti di tempo, e per conseguenza generare dieci di quei suoi momenti. Io dico che detti momenti si conserveranno, e si aggregheranno insieme [...]. Quando poi il grave dopo la caduta arriverà alla percossa, non applicherà più, come faceva prima, la semplice forza di cento libre, figlia di uno istante solo, ma le forze moltiplicate figlie di dieci istanti, che saranno equivalenti a libre mille: tante per appunto, quante ne voleva il marmo unite, e insieme applicate per restar rotto, e superato.
- 4.35 Quando egli nella quiete aveva il momento di una libra, allora di velocità non aveva nulla, avendo poi dopo la caduta acquistato qualche velocità, questo mi pare che si possa chiamare accrescimento infinito. Il passaggio dall'esser nulla all'esser qualcosa che vuole giudicarsi mutazione infinita. Osservisi che quando si fa quest'argomento contro e si dice, dunque dovrebbe avere velocità infinita, l'avversario intende velocità infinite volte maggiore di qualch'altra minor velocità. Ma io non ho detto che il momento dopo una caduta sia infinite volte maggiore, che il momento dopo una caduta più piccola, anzi so che questo non è assolutamente vero.
- 4.36 Mi pare che potrebbe formarsi una Proposizione così: I tempi proporzionali reciprocamente alle resistenze, sono equivalenti per estinguere l'istesso impeto. Mi dichiaro: se il lungo tempo del ritorno del martello all'insù con la poca repugnanza di quattro libre di peso contrario può estinguere quell'impeto infinito che era nell'istesso martello cadente (come in effetto fa per la dottrina del Galileo), il tempo mille volte minore, nel quale si fa l'ammaccatura del ferro, insieme colla resistenza dell'ammaccatura, che è mille volte maggiore, basterà per estinguere il medesimo impeto per infinito che egli sia.
- 4.37 E però si vede che la forza dell'urto non riesce maggiore conforme sarà maggior la materia, o la gravità, ma solamente secondo che maggiore sarà stata la sua renitenza all'esser mosso; cioè secondo che egli averà dato maggior campo alla potenza motrice di poter imprimere in esso maggior cumulo di virtù.
- 4.38 *Hactenus mihi videor de scientia naturalis gravium solidorum satis pro viribus dixisse, dum ex quibusdam proprietatibus sensui notis, plures ignotae deductae, & patefactae sunt: in hoc enim solummodo ex Aristotele omnis scientia versatur, ut in praxi apud Euclidem, & alios, qui veras, & simplices scientias tractant, videtur est: unde nec agit geometra de natura quantitatis, nec musicus de natura soni, nec perspectivus de natura luminis, nec mechanicus de natura ponderis.*
- 4.39 É la nostra intenzione investigare e dimostrare geometricamente accidenti e passioni, che accaggiono ai mobili gravi naturalmente e liberamente discendenti sopra spazi retti differenti, o di lunghezza o d' inclinazione, o d' ambedue insieme. Nel venir poi alla elezione dei principii, sopra i quali deve

esser fondata la scienza, prendete come chiara notizia accidenti, i quali niuna connessione hanno con moti fatti sopra linee non rette, non di assegnabile inclinazione, nè che in esse le diverse lunghezze operino quello, che operano nelle linee rette, ma in tutto e per tutto cose differentissime, lo che mi par un grave errore, e tanto maggiore, quanto che e' se ne tira dietro un altro non minore. Mi dichiaro: voi pigliate come principio noto e indubitato le vibrazioni del medesimo pendolo farsi tutte sotto tempi uguali, siano elle di qualsivoglia grandezza. Item supponete i tempi delle vibrazioni di pendoli disegnati esser tra di loro in suddupla proporzione delle lunghezze dei loro fili, assunto veramente ardito. E da questo, che supponete accadere nei mobili discendenti per circonferenza di cerchi, volete raccorre quello che occorre nei moti retti.

- 4.40 Ma tornando al mio trattato del moto, argomento *ex suppositione* sopra il moto, in quella maniera difinito; sichè quando bene le conseguenze non rispondessero alli accidenti del moto naturale de' gravi discendenti, poco a me importerebbe, sicome nulla deroga alle dimostrazione di Archimede il non trovarsi in natura alcun mobile che si muova per linee spirali. Ma in questo sono io stato, dirò così, avventurato, poichè il moto dei gravi et i suoi accidenti rispondono puntualmente alli accidenti dimostrati da me del moto da me difinito.
- 4.41 Ringratio V. S. parimente della pacienza havuta in legger le mie cose e delle considerationi che vi fa. Io in vero ho giudicato che l'esperienze si debbano por per principii delle scienze, quando son sicure, e che dalle cose note per lo senso sia parte della scienza condurci in cognitione delle igniote [...] e che il cercar le cause spetta ad un altro habito, detto sapienza, come ho accennato nella prefattione del libro de' Moti, e sì come i principii delle scienze sogliono essere deffinitioni, assiomi e petitioni, che queste nelle cose naturali siano per lo più esperienze, e sopra tali son fondate l'astronomia, la musica, la meccanica, la prospettiva e tutte le altre.
- 4.42 At vero meus intellectus non omnino acquiescit, ni causas priores, a quibus hi effectus demum proveniunt, si non assequatur, saltem investiget; perquirendo quae sit natura mobilium, corporum nimirum prout mobilia sunt; etiam si hoc non ad scientiam de motu, sed ad habitum superiorem, nimirum sapientiae pertineat; quo non effectus, sed rerum naturae, et principia nobis innotescunt.
- 4.43 In eam descendi sententiam, ut arbitrarer fortasse, gravitatem se habere ut agens, materiam vero, seu mavis materiale corpus, ut passum, & proinde gravia moveri iuxta proportionem gravitatis ad materiam, & ubi sine impedimento naturaliter perpendiculari motu ferantur, moveri aequaliter, quia ubi plus est gravitatis, plus pariter sit materiae, seu materialis quantitatis.
- 4.44 Ducatur mobile A, ab A versus E a quovis motore, seu naturaliter a gravitate deorsum, seu violenter ab impellente.
- 4.45 Iam ante plures annos mihi visus sum assequi causam accelerationis motus, dum adhuc mobile a motore impellitur; quia nimirum mobili moto imprimatur impetus, causa motus subsequens; ex quo in secundo tempore adsunt duo motores, unde est velocior, & impetus maior; in tertio tempore sunt duo itidem motores, at alter puta impetus maioris virtutis, unde motus adhuc celerior; & ita deinceps.

[...]

Ex quibus in eam incidi sententiam, ut existimem, eam esse fortasse naturam mobilium, ut indifferenter se habeant tam ad quietem, quam ad quemlibet motum; unde, dummodo motus praecedat, a quacumque causa proveniens, seu naturali seu violenta, similis postmodum subsequatur, seu idem perseveret, eadem velo citate quam in quolibet instanti sortitum fuerit, donec impediatur.

- 4.46 Quandoquidem etiam si verum precise fortasse non sit, est attamen adeo veritati proximum, ut veritatem in adhibitis experimentis sensus percipere nequiverit, quamobrem excusandi sunt quicumque ita censuerunt.
- 4.47 Si vero accedat aliquid resistantia, regulari motum secundum excessum virtutis agentis supra resistantiam passi, seu impedimenta motum; qui excessus momentum noncupabitur, & quod communiter gravitati attributum fuit, momentum, momento attribui debere.
- 4.48 Momentum gravis super plano inclinato est ad ipsius gravitatem, ut perpendicularis ad inclinatam, si ab eodem puncto ducta sint ad idem planum horizontale dicta perpendicularis, & dictum planum inclinatam, & proinde tali casu proportio gravitatis ad momentum est reciproca proportioni linearum super quibus grave movetur.
- 4.49 Impetus est vis, qua mobile est aptum progredi absque actione gravitatis, aut cuiusvis alterius rei.
- 4.50 Quae virtus dicitur impetus, differens solum fortasse a velo citate, quia impetus sit velocitas in actu primo, ita ut aliquo pacto impetus sit causa velocitatis; conveniunt tamen, quatenus velocitates sunt ut spatia quae mobilia aequali tempore permeant, impetus vero ut spatia, quae virtute ipsius impetus sunt apta, & in potentia proxima permeare, & de facto permeant nisi impedimentum aliquod obiciatur, secus enim effectus causae non responderet. Porro ex impetu provenit quod missilia quaelibet, a motore velociter ducta, deficiente motoris actione, nihilominus a solo impetu ferantur, quod in proiectis quotidie experimur. De quibus locus postularet ut aliquid agerem, nisi via quam eorum motu conficiunt, me adhuc lateret; quamvis non ignorem viris oculatissimis visam esse parabolicam.
- 4.51 Propositio tertia. Lineae descensus gravium, dum naturali motu perpendiculariter feruntur, sunt in duplicata ratione diurnitatum. Sint LN, KM lineae descensus gravium L, K, et sint P, O ipsorum diurnitates. Dico LN, KM esse in duplicata ratione ipsarum P, O. Sint pendula AH, AI, dependentia a puncto A, et eleventur ad libellam ipsius A usque ad E, B, quae in elevatione producant arcus HB, IE, et sint talis longitudinis, ut ducta ACP, secet arcus BC, et EP, tam parvae curvatis ut pro rectis habeantur, puta portionis minimae, ei proinde aequales quo ad sensum rectis KM, LN a, et fiat V tertia proportionalis ad O, P. Quoniam O, P, sunt diurnitates KM, LN, ex constr., sunt itidem diurnitates BC, EF, et quia diurnitates vibratorum AH, AI sunt etiam ut O ad P, AH, AI sunt ut O ad V, et pariter BC, et EP sunt ut O ad V. Ergo KM, LN eis aequales per constr. sunt etiam ut O ad V, et proinde in duplicata ratione O, P, temporum seu diurnitatum earumdem. Quod, etc.

- 4.52 La supposizione assai dura, come appresso diremo, che i moti per le parti minime delli archi siano come se fosser fatti per linee rette, assunto come dico assai duro, imperocchè con gran ragione può il lettore domandare che gli sia assegnata la quantità dell'arco, che V. S. chiama minima, sicché, per esempio, ella intenda l'arco esser minimo fino che non giunga alla meta di un grado. Inoltre, sarebbe stato necessario dichiararsi quale delle stesse linee rette si deva prendere per gli archi minimi, cioè se quella, che, partendosi dal medesimo punto dell'arco, tocca la circonferenza, oppure la sega come corda di esso arco minimo, oppure è una delle altre molte, che dal medesimo punto primo possono tirarsi.
- 4.53 *Propositio XI. Si duo gravia descendant alterum super linea perpendiculari, alterum vero super inclinata; proportio velocitatum est reciproca proportioni linearum.*
- 4.54 *Propositio XIV. Probl. VII. Data linea perpendiculari, per quam grave descendat, cui annectatur linea, seu planum declinans; in declinante reperire punctum, quo grave perveniat eo tempore, quo pertransiverit perpendicularem.*
- 4.55 *Propositio prima. Grave in motu naturali, sive perpendiculari, sive inclinato, fertur sine ope gravitatis, aequali tempore, per duplum spatij praecedentis. Dato gravi A naturaliter lato ab A ad B tempore ab, eius aequale sit tempus be, et spatium BC sit duplum spatij AB. Dico quod tempore be fertur grave sine ope gravitatis per spatium aequale ipsi BC. Producatur AB, sumaturque portio BD aequalis, et DE dupla lineae AB, et proinde aequalis ipsi Be. Quoniam ope gravitatis A tempore ab fertur in B per constructionem, tempore bc eadem ope prodibit in D per spatium BD aequale AB, at prodit in E b, ergo fertur per DE duplum ipsius AB sine ope gravitatis, cui cum sit aequalis BC per constructionem, constat, quod sine ope gravitatis tempore bc fertur per spatium aequale BC, quod etc.*
- 4.56 *Propositio IV. In motu naturali impetus successive acquisiti sunt ut tempora transacta. Dato gravi moto naturali motu per A C, tempore ac et per AB tempore ab. Dico impetum seu velocitatem in B ad impetum in C esse ut ab ad ac. Concipiuntur tempora ab, ac tanquam lineae rectae metientes tempora ab, ac. Fiat BD dupla ipsius AB mensura impetus in B tempore ab, et CE dupla ipsius AC mensura impetus in C tempore ac, et BF media inter BD, Quoniam AB, AC sunt in duplicata ratione temporum ab, ac, CE sunt etiam in duplicata ratione eorundem temporum ab, ac, sed BD, CE sunt etiam in duplicata ratione spatiorum BD, BF, per constructionem, ergo BD, BF sunt ut tempora ab, ac. Sed BD mensura impetus in B tempore ab, est spatium per quod percurrit mobile virtute solius impetus acquisiti in B tempore ab per constructionem, erit igitur BF spatium per quod percurreret idem mobile eadem virtute impetus acquisiti in B tempore ac, at CE est spatium quod percurreret mobile eodem tempore ac per constructionem. Igitur eodem tempore ac mobile in C perficit spatium CE, et in B perficit spatium BF; sed impetus sunt ut spatia quae aequali tempore transiguntur. Ergo impetus in C, et B sunt ut CE ad BF spatia, quae probatum est esse ut tempora ac, ab, unde impetus in C et B sunt ut tempora ac, ab, quod etc.*

- 4.57 Ut autem datis temporibus, facile spatia peracta reperiant, qui parum in arithmetiis progressionibus versati sunt, duc numerum temporum, si sit par, in medietatem, & adde medietatem; si impar, in portionem maiorem medietatis, & prodibit summa spatiorum in dato tempore peractorum. Dentur 4 tempora, duc in 2, productum 8 adde medietatem 2, sit 10 summa spatiorum. Dentur tempora 9, duc in 5, productum 45 est summa spatiorum.
- 4.58 Augetur igitur, ni fallor, motus iuxta progressionem arithmetiicam, non numerorum imparium ab unitate huc usque creditam, sed naturalem; at nihilominus, cum fere ijdem effectus subsequantur, ob insensibilem discrepantiam, mirandum non est, creditum fuisse spatia esse in duplicata ratione temporum; quandoquidem etiam si verum precise fortasse non sit, est attamen adeo veritati proximum, ut veritatem in adhibitis experimentis sensus percipere nequiverit, quamobrem excusandi sunt quicumque ita censuerunt. Ego autem modo veritatem delitescentem detexisse spero, causam nimirum a qua huiusmodi proportio emanat aperuisse, & insuper quales errores fuerint in suppositionibus, & experimentis huc usque habitis, quod an re vera consecutus fuerim aliorum sit iudicium.
- 4.59 Et generalem quod attinet, manifestum mihi videtur illam non aliam esse, quam Deum ipsum, qui materiam simul cum motu & quiete in principio creavit, jamque, per solum suum concursum ordinarium, tantundem motus & quietis in ea tota quantum tunc posuit conservat. Nam quamvis ille motus nihil aliud sit in materia mota quam ejus modus; certam tamen & determinatam habet quantitatem, quam facile intelligimus eandem semper in tota rerum universitate esse posse, quamvis in singulis ejus partibus mutetur.
- 4.60 Pour entendre comment la matière subtile qui tourne autour de la terre chasse les cors pesants vers le centre remplissez quelque vaisseau fond de menues dragées de plomb, & mêlé parmi ce plomb quelques pièces de bois, ou autre matière plus légère que ce plomb, qui soient plus grosses que ces dragées; puis, faisant tourner ce vaisseau fort promptement, vous prouverez que ces petites dragées chasseront toutes ces pieces de bois, ou autre telle matière, vers le centre du vaisseau, ainsi que la matière subtile chasse les cors terrestres, &c.
- 4.61 Prima lex naturae: quod unaquaeque res, quantum in se est, semper in eodem statu perseveret; sicque quod semel movetur, semper moveri pergat.
Altera lex naturae: quod omnis motus ex se ipso sit rectus; & ideo quae circulariter moventur, tendere semper ut recedant a centro circuli quem describunt.
Tertia lex: quod unum corpus, alteri fortiori occurrendo, nihil amittat de suo motu; occurrendo vero minus forti, tantum amittat, quantum in illud transfert centro circuli quem describunt.
- 4.62 Lors que deux corps se rencontrent, qui ont en eux des modes incompatibles, il se doit véritablement faire quelque changement en ces modes, pour le rendre compatible, mais que ce changement est toujours le moindre qui posse être, c'est a die que, si certaine quantité de ces modes étant changée, ils peuvent devenir compatible, il ne s'en changera point une plus grande quantité.
- 4.63 Principia autem quae jam invenimus, tam vasta sunt & tam foecunda, ut multo plura ex iis sequantur, quam in hoc mundo aspectabili contineri videamus; ac

etiam multò plura, quam mens nostra cogitando perlustrare unquam possit. Sed jam brevem historiam praecipuorum naturae phaenomenon (quorum causae hic sunt investigandae), nobis ob oculos proponemus; non quidem ut ipsis tanquam rationibus utamur ad aliquid probandum: cupimus enim rationes effectuum a causis, non autem contra causarum ab effectibus deducere; sed tantùm ut ex innumeris effectibus, quos ab iisdem causis produci posse judicamus, ad unos potius, quam alios considerandos mentem nostram determinemus.

- 4.64 La règle générale que je donne en ceci est que, comme il y a un centre de gravité dans tous les corps pesants, il y a aussi dans les mêmes corps un centre de leur agitation, lorsqu'ils se meuvent étant suspendus par l'un de leurs points, & que tous ceux en qui ce centre d'agitation est également distant du point par lequel ils sont suspendus, sont leurs tours & retours en temps égaux, pourvue toutefois qu'on excepte ce que la résistance de l'air peut changer dans cette proportion: car elle retarde bien plus les corps de matière légère, & ceux dont la figure est fort éloignée de la sphérique, que les autres.
- 4.65 1. Si le corps n'a qu'une dimension sensible, comme AD, que je suppose être un cylindre qui a si peu de grosseur qu'il n'y a que sa largeur seule à considérer, son centre d'agitation est en l'endroit de ce corps qui passe par le centre de gravité du triangle ABC, lors qu'il décrit ce triangle par son mouvement, à savoir au point E qui laisse un tiers de la longueur AD vers la base.
- 4.66 2. Si ce corps a deux dimensions sensibles, comme le plan triangulaire ABC, dont je suppose les côtés AB & AC être égaux, & qu'il se meut autour du point A, & ensemble de l'axe FG, en sorte que la ligne BC est toujours parallèle à cet axe, alors son centre d'agitation est dans le point de la ligne AD perpendiculaire à sa base BC, lequel passe par le centre de gravité de la pyramide que décrit ce triangle, lorsqu'il se meut en cette façon, à savoir au point O; en sorte que OD est un quart de la ligne AD. Et il est à remarquer que, soit qu'on suppose la base de cette pyramide (laquelle base est une partie quadrangulaire d'une superficie cylindrique) fort étroite, soit qu'on la suppose fort large, pourvue qu'aucun de ses côtés n'excède le demi cercle, le centre de gravité y divise toujours la perpendiculaire en même façon.
- 4.67 3. Si ce plan triangulaire ABC se meut autour du point A en un autre sens, à savoir autour de l'axe [AD] a perpendiculaire à FG, en sorte que les points B & C s'entre suivent, alors, pour trouver son centre d'agitation, je ne le cherche plus dans la ligne AD, mais dans l'un des côtés AB ou AC, & je décris le trapèze HIKL, dont le diamètre HK est égal au côté AB ou AC, & toutes les lignes droites qu'on y peut inscrire en les ordonnant à angles droits à ce diamètre, comme comme 11, 22, 33 & 77 sont égales à autant de parties de circonférences de cercles ayants leurs centres au point A, qui peuvent être inscrites dans le triangle ABC, & qui divisent les côtés en même raison que H K, comme sont 11, 22, 33 & 77. Puis j' imagine que ce trapèze, étant mû quelque peu (c'est à dire en sorte que chacun de ses points décrive moins qu'un demi cercle) autour du point H & de l'axe F G, décrit un solide qui a six faces, duquel solide je cherche le centre de gravité, & je dis que le point du diamètre H K, qui passe par ce centre de gravité en décrivant ce solide, est le centre d'agitation demandé.

- 4.68 Je décris une figure plate AHEI, qui a pour diamètre la perpendiculaire AE, & dans laquelle toutes les lignes droites ordonnées en m^{me} façon des deux codez a angles droits a cette perpendiculaire, comme font 2–6 & 1–5, ont entre elles m^{me} raison que les pyramides dont le sommet est au point A & qui ont des bases égales aux parties des superficies des cylindres susdits, lesquelles se trouvent dans ce cors.
- 4.69 Car je comprends ici sous ce nom de résistance de l'air ce quel es autres appellent la tardiveté ou l'inclination au repos qu'ils pensent être naturelle a toue les corps.
- 4.70 On verra clairement qu'il n'y a, la plus part du temps, qu'une petite partie de ce triangle qui ait de la force pour le mouvoir, & que tout le reste ne sert qu'a retarder ses vibrations [...]. Car. au point ou il est maintenant, toute sa partie CAE qui est au delà de la perpendiculaire AE & une autre partie de l'autre côté, qui lui est égale, a savoir EAN, sont en équilibre [...] li bien qu'il ne reste que DAN qui agisse [...]. Et a mesure que l'angle D descend vers E, cette partie NAD devient plus petite, & l'autre NAC devient plus grande.
- 4.71 Le défaut de ce raisonnement est qu'il considère l'agitation seule des parties du corps agité, oubliant la direction de l'agitation de chacune de ces parties; laquelle direction change, & est différente en tous les points qui sont inégalement éloignez du plan vertical AH, quoi que ces points soient en une même superficie cylindrique a l'entour de l'axe AB. Car la direction du point L, pour exemple, est la touchante LS, soit que ce point agité pousse de L vers S, ou qu'au contraire, il tire vers la partie opposée. Pareillement, la direction du point M est MS, la direction du point T est TR, la direction du point V est VR, &c. Tellement que, quoi que l'agitation de tous ces points soit égale, toutefois la différence de leur direction change l'effect de cette agitation pour deux chess. Le premier, qua l'égard de la perpendiculaire IN, ils tirent ou poussent par des points différents R, S, &c. Le second, que leurs lignes de direction sont des angles inégaux avec cette perpendiculaire.
- 4.72 De fact, pour avoir ce centre, il faut entendre que comme l'arc LM est à sa corde LM, ainsi le demi-diamètre IN soit à 15, & le point 5 sera le centre demandé. Que si on fait le même pour toutes les autres superficies cylindriques, a l'entour de l'axe AB, moindres que CGHF, & comprises dans le secteur AH, on viendra à une conclusion toute autre que celle de M.D.C.
- 4.73 Je passe encore que, quoi que le centre de percussion ou d'agitation fust assigné comme dessus, il ne parait pas qu'il fust la règle ou distance requise pour les vibrations ou balancement des corps, auquel balancement le centre de gravité contribue quelque chose, aussi bien que le centre d'agitation. Car ce centre de gravité est la cause de la reciprocation de ce balancement de droite a gauche & de gauche à circle; vu que, s'il n'y avait que l'agitation, le mouvement serait continuel d'une même part a l'en tour de axe.
- 4.74 Considérant la force d'agitation de chacun de ces points, il est certain que leurs forces sont entr'elles comme leurs agitations, ou comme leurs vitesses ou chemins, c'est à dire, comme les arcs semblables BCD, ELH, FMI, &c., sont entreux. C'est a dire, comme les distances ou rayons du point immobile

- A jusques a chacun arc, telles que font AB, AE, AF, &c. [...] Or, comme les dites lignes BD, EH, FI, &c. font entr'elles, ainsi leurs forces de pesanteur sont entr'elles. Et partant, le centre des forces d'agitation de la somme des points B, E, F, &c. (c'est à dire de toute la ligne AB) est semblablement posé, entre les points extrêmes A & B, que le centre de pesanteur de toutes les lignes BD, EH, FI, &c. (c'est à dire du triangle ABD).
- 4.75 Je trouve aussi qu'il s'est mépris en pensant que le centre de gravité du mobile contribue quel qu'autre chose à la mesure de ses vibrations, que ne fait le centre d'agitation: car le mot de centre de gravité est relatif aux corps qui se meuvent librement, ou bien qui ne se meuvent point du tout; pour ceux qui se meuvent autour d'un axe auquel ils sont attachez, ils n'ont aucun centre de gravité au regard de cette position & de ce mouvement, mais seulement un centre d'agitation. Au lieu de dire que le centre de gravité est la cause de la réciprocation de droite a gauche il devait seulement dire: c'est la gravité ou pesanteur du mobile qui en est cause, sans parler du centre de cette gravité lequel n'est in ce cas qu'une chimère.
- 4.76 Il nie que [...] il faille considérer la direction de chacun des points de ce corps, rapportée à une certaine perpendiculaire, comme celle qui est dressée vers le centre de la terre, afin de déterminer dans cette perpendiculaire le centre d'agitation ou de percussion; & toutefois, dans la première, il avait assuré que ce centre est dans cette perpendiculaire: partant, puis que, par les règles de la Méchanique, l'establishment d'un tel centre dépend non seulement de la force de l'agitation de chacun point du corps balancé, mais aussi de la direction des mêmes points, il s'enfuit que la force & la direction ensemble, qui est l'establishment ce centre.
- 4.77 Or, ici, la pesanteur du corps est une puissance, l'agitation du même en est une autre, quoi qu'elle soit causée par la pesanteur, & chacune de ces puissances a sa force, sa direction & son centre, propres & particuliers, qui servent à examiner le centre du composé de ces différentes puissances, lequel centre change sans doute en chacune différente position du corps balancé alentour d'un même axe; & par ces changements, ce centre décrit un lieu dans le même corps. De ce lieu, les différents points dans différemment éloignez de l'axe du mouvement ces différentes distances apportent indubitablement de l'altération à la vitesse du mouvement réciproque des vibrations. Il faudrait donc conirostre & ce lieu & cette altération, pour déterminer la longueur du funependule qui ferait les vibrations d'égale durée.
- 4.78 Quando grave est in medio libero, per quod scilicet descendere potest, secundo instanti producitur novus impetus, itemque tertio, quarto, quinto. &c. Probatur primo; quia secundo instanti est eadem causa quae primo non magis impedita, eaque necessaria; igitur necessario agit per Ax. 12. lib.1. igitur aliquem effectum producit; sed hic effectus non est impetus productus primo instanti, quia non conservatur a causa primo productiva. Per Th. 11. igitur est novus.

Quotations of Chapter 5

- 5.1 Perfette Durum, appello, quod ictui nequaquam cedit; Adeoque nec Molle, nec Elasticum.
 Molle, appello, quod ictui ita cedit ut pristinam figuram amittat: Ut Lutum, Cera, Plumbum, aliaque similia quae ictu deformantur; aut etiam Corpora Fluida. Ubi enim hoc contingit, virium pars aliqua in deformando Corpore absumitur, nec tota in Obstaculum impenditur: Cujus itaque seorsum est habenda ratio.
 Elasticum appello, quod, utut ictui aliquantisper cedat, se tamen in pristinam formam suoapte marte restituit: ut sunt Elateres, Chalybei, Lignei, aut cujuscunque materiae; (nostrates Springs appellant;) & Corpora istiusmodi quae pressa resurgunt, aut quocunque modo a situ debiro detorta vim habeat semet restituendi secundum lineam rectam.
- 5.2 I. Corpus quodlibet semel motum, si nihil obsed, pergere moveri eadem perpetuo eleritatee & secundum lineam rectam.
 II. Quaecunque sit causa corporibus duris a mutuo contactu resiliendi cum in se invicem impinguntur; ponimus, cum corpora duo inter se aequalia, aequali celeritate, ex adverso ac directe sibi mutuo occurrunt, resilire utrumque eadem qua advenir celeritate.
 III. Motum corporum, celeritatesque aequales aut inaequales respective intelligendas esse, facta relatione ad alia corpora quae tanquam quiescentia considerantur, etsi fortasse & haec & illa communi alio moto involvantur.
- 5.3 V. Vim motricem, vel etiam Vim simpliciter, appello Potentiam efficiendi motum.
 VII. Resistentiam, sive Vim resistendi, Potentiam Motui contrariam; sive quae motui resitit.
 XII. Gravitas, est vis motrix, deorsum; sive, ad Centrum Terrae.
 Quodnam sit, in consideratione Physica, Gravitatis principium; non hic inquiremus. Neque etiam, An Qualitas dici debeat, aut, Corporis affetio; aut, quo alio nomine censerī par sit. Sive enim ab innata qualitate in ipso gravi corpore, sive a communi circumstantium vergentia ad centrum; sive ab electrica vel magnetica Terrae facultate, quae gravia ad se alliciat; & effluviis suis, tamquam catenulis, attrahat; sive alias undecunque proveniar; (de quo non est hic moveamus litem) sufficit ut Gravitatis nomine, eam intelligamus, quam sensu deprehendimus, Vim deorsum movendi, tum ipsum corpus grave, tum quae obstant minus efficacia impedimenta.
- 5.4 Nempe inceptum motum (nisi obstaculum ponatur), suoapte sponte (sine continuo motor), non minus quam jam existentem Quietem (nisi accedat motor) perseverare, Galileum, Cartesium, Gassendum, aliique, videntur Postulare Idemque motus eadem Celeritate, nisi accedat Impedimentum, perseverabit; etiamsi non accedit nova causa motrix.
- 5.5 Gravia, caeteris paribus, gravitant in ratione Ponderum. Et, universaliter, Vires Motrices, quaelibet, agunt pro Virium ratione.
 [...]

- Prop. II. Grave, quatenus non impeditur, Descendit; seu propius ad Terrae Centrum appropinquat.
Et universaliter, vis quaevis Motrix, secundum Directionem suam, quatenus non impeditur, procedit.
- 5.6 Prop. I. Si, Mobili in Motu posito, accedat nova Vis, seu novus Impetus, secundum eandem directionem, sit Motus Acceleratio.
Si Impedimentum, seu Vis contraria: sit Retardatio. Et utrobique pro ratione novi istius sive Impetus, sive Impedimenti, seu Vis contrariae.
Adeoque si Impedimentum seu Vis contraria sit Vi posita minor; perseverabit Motus ad easdem partes, celeritate minuta.
Si aequale; Motus tolletur: aut etiam si Impedimentum praepolleat.
Si praepolleat Vis contraria; ponetur etiam Motus ad partes contrarias.
- 5.7 Prop. II. Si Vis Motricis, per se aequabilis, continua siat applicatio producet Motus continuo Acceleratus. Et quidem ita Acceleratus, ut temporibus aequalibus aequalia concipiat Celeritatis incrementa: Quem Motum vocant Aequaliter Acceleratum.
Si Vis Impeditivae, per se aequabilis, similis fiat applicatio; similis prodibit Motus Retardatio. Quem Motum vocant Aequaliter Retardatum.
- 5.8 Gravitatis est conatus descendendi. Ponendo itaque gravia cadentia sive ad perpendicularum sive in planis inclinatis moveri ea acceleratione, ut temporibus aequalibus aequalia accrescant celeritatis momenta, certissime inde demonstrari potest: spatia diversis temporibus è quiete peracta esse inter se, sicut temporum quadrata.
- 5.9 Hoc idem est gravita corporis quod conatus materiae ipsi aequalis et celerrime motae a centro recedent [...] adeo ut haec initio motus necessario aequalia sint, recessio materiae a centro, et corporis cadentis accessus versus centrum. Unde et comperto descensu hujus qui certo tempore contingit, velut si 1^{'''} decidit per spatium 3/5 lineae, cognoscemus quoque ascensum materiae istius a centro, qui nempe 1^{'''} tempore etiam erit 3/5 lineae.
- 5.10 Unde etiam concludemus vires centrifugas mobilium inaequalium sed in circulis aequalibus aequali velocitate latorum esse inter se sicut mobilium gravitates, seu quantitates solidas cite.
- 5.11 Moi je dis que chaque corps a de la pesanteur suivant la quantité de la matière qui le compose et qui est en repos, ou peut être prise pour être en repos à l'égard du mouvement infiniment vite de la matière qui le traverse. Cela paroît de l'effet de l'impulsion qui suit exactement le raison de la pesanteur des corps.
- 5.12 Or l'expérience montre que toutes les fois que deux corps réfléchissent ainsi également, étant venus à se rencontrer avec d'égalles vitesses, ces corps sont d'égale pesanteur. Il s'ensuit donc que ceux qui sont composez d'égale quantité de matière sont aussi d'égale pesanteur.
- 5.13 Inter primarias qualitates corporum universorum vel gravitas habebit locum; vel extensio, mobilitas, & impenetrabilitas non habebunt. Et natura rerum vel recte explicabitur per corporum gravitatem, vel non recte explicabitur per corporum extensionem, mobilitatem, & impenetrabilitatem.

- 5.14 Definitio III. Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.
- 5.15 Haec semper proportionalis est suo corpori, neque differt quicquam ab inertia massae, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiae fit, ut corpus omne de statu suo vel quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo vis Inertiae dici possit. Exercet vero corpus hanc vim solummodo in mutatione status sui per vim aliam in se impressam facta; estque exercitium illud sub diverso respectu & resistentia & impetus: Resistentia, quatenus corpus ad conservandum statum suum reluctatur vi impressae; impetus, quatenus corpus idem, vi resistentis obstaculi difficulter cedendo, conatur statum obstaculi illius mutare. Vulgus resistentiam quiescentibus & impetum moventibus tribuit: sed motus & quies, uti vulgo concipiuntur, respectu solo distinguuntur ab invicem; neque semper vere quiescunt quae vulgo tanquam quiescentia spectantur.
- 5.16 Definitio IV. Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum.
- 5.17 Consistit haec vis in actione sola, neque post actionem permanet in corpore. Perseverat enim corpus in statu omni novo per solam vim inertiae. Est autem vis impressa diversarum originum, ut ex ictu, ex pressione, ex vi centripeta.
- 5.18 Lemma X. Spatia quae corpus urgente quacunque vi finita describit, sive vis illa determinata & immutabilis sit, sive eadem continuo augetur vel continuo diminuatur, sunt ipso motus initio in duplicata ratione temporum.
- 5.19 Est autem tempus, quo corpus cadendo describit lineolam DE, ut lineola illa directe & velocitas V inverse, estque vis ut velocitatis incrementum I directe & tempus inverse.
- 5.20 Hactenus exposui motus corporum attractorum ad centrum immobile, quale tamen vix extat in rerum natura. Attractiones enim fieri solent ad corpora; & corporum trahentium & attractorum actiones semper mutuae sunt & aequales, per legem tertiam: adeo ut neque attrahens possit quiescere neque attractum, si duo sint corpora, sed ambo (per legem corollarium quartum) quasi attractione mutua, circum gravitatis centrum commune revolvantur: & si plura sint corpora, quae vel ab unico attrahantur, & idem attrahant, vel omnia se mutuo attrahant; haec ita inter se moveri debeant, ut gravitatis centrum commune vel quiescat, vel uniformiter moveatur in directum. Qua de causa jam pergo motum exponere corporum se mutuo trahentium, considerando vires centripetas tanquam attractiones, quamvis fortasse, si physice loquamur, verius dicantur impulsus. In mathematicis enim jam versamur; & propterea, missis disputationibus physicis, familiari utimur sermone, quo possimus a lectoribus mathematicis facilius intelligi.
- 5.21 Nam si aestimetur agentis actio ex ejus vi & velocitate conjunctim; & similiter resistentis reactio aestimetur conjunctim ex ejus partium singularum velocitatibus & viribus resistendi ab earum attritione, cohaesione, pondere, & acceleratione oriundis; erunt actio & reactio, in omni instrumentorum usu, sibi invicem semper aequales. Et quatenus actio propagatur per instrumentum & ultimo

- imprimatur in corpus omne resistens, ejus ultima determinatio determinationi reactionis semper erit contraria.
- 5.22 Definitio V. Vis centripeta est, qua corpora versus punctum aliquod, tanquam ad centrum, undique trahuntur, impelluntur, vel utcunque tendunt.
- 5.23 Hujus generis est gravitas, qua corpora tendunt ad centrum terrae; vis magnetica, qua ferrum petit magnetem; & vis illa, quaecunque sit, qua planetae perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis, & in lineis curvis revolvi coguntur. Lapis, in funda circumactus, a circumagente manu abire conatur; & conatu suo fundam distendit, eoque fortius quo celerius revolvitur; &, quamprimum dimittitur, avolat. Vim conatui illi contrariam, qua funda lapidem in manum perpetuo retrahit & in orbe retinet, quoniam in manum ceu orbis centrum dirigitur, centripetam appello. Et par est ratio corporum omnium, quae in gyrum aguntur. [...] Si globus plumbeus, data cum velocitate secundum lineam horizontalem a montis alicujus vertice vi pulveris tormentarii projectus, pergeret in linea curva ad distantiam duorum milliarium, priusquam in terram decideret: hic supra cum velocitate quasi duplo longius pergeret, & decupla cum velocitate quasi decuplo longius: si modo aëris resistentia tolleretur. Et augendo velocitatem augeri posset pro lubitu distantia in quam projiceretur, & minui curvatura lineaequam describeret, ita ut tandem caderet ad distantiam graduum decem vel triginta vel nonaginta; vel etiam ut terram totam circumiret vel denique ut in coelos abiret, & motu abundi pergeret in infinitum. Et eadem ratione, qua projectile vi gravitatis in orbem flecti posset & terram totam circumire, potest & luna vel vi gravitatis, si modo gravis sit, vel alia quacunque vi, qua in terram urgeatur, retrahi semper a cursu rectilineo terram versus, & in orbem suum flecti: & sine tali vi luna in orbe suo retineri non potest.
- 5.24 Definitio VI. Vis centripetae quantitas absoluta est mensura ejusdem major vel minor pro efficacia causae eam propagantis a centro per regiones in circuitu.
- 5.25 Definitio VII. Vis centripetae quantitas acceleratrix est ipsius mensura velocitati proportionalis, quam dato tempore generat.
- 5.26 Definitio VIII. Vis centripetae quantitas motrix est ipsius mensura proportionalis motui, quem dato tempore generat.
- 5.27 Porro attractiones & impulsus eodem sensu acceleratrices & motrices nomino. Voces autem attractionis, impulsus, vel propensionis cujuscunque in centrum, indifferenter & pro se mutuo promiscue usurpo; has vires non physice sed mathematice tantum considerando. Unde caveat lector, ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem physicam alicubi definire, vel centris (quae sunt puncta mathematica) vires vere & physice tribuere; si forte aut centra trahere, aut vires centrorum esse dixerit.
- 5.28 Uti pondus majus in majori corpore, minus in minore; & in corpore eodem majus prope terram, minus in cœlis. Haec quantitas est corporis totius centripetentia seu propensio in centrum, & (ut ita dicam) pondus; & innotescit semper per vim ipsi contrariam & aequalem, qua descensus corporis impediri potest.
- 5.29 Vocem attractionis hic generaliter usurpo pro corporum conatu quocunque accedendi ad invicem: sive conatus iste fiat ab actione corporum, vel se mutuo petentium, vel per spiritus emissos se invicem agitantium; sive is ab actione

aetheris, aut aeris, mediivae cujuscunque seu corporei seu incorporei oriatur corpora innatantia in se invicem utcunque impellentis. Eodem sensu generali usurpo vocem impulsus, non species virium & qualitates physicas, sed quantitates & proportiones mathematicas in hoc tractatu expendens, ut in definitionibus explicui. In mathesi investigandae sunt virium quantitates & rationes illae, quae ex conditionibus quibuscunque positis consequuntur: deinde, ubi in physicam descenditur, conferendae sunt haerationes cum phaenomenis; ut innotescat quatenam virium conditiones singulis corporum attractivorum generibus competant.

- 5.30 Hactenus phaenomena caelorum & maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique haec e vis a causa aliqua quae penetrat ad usque centra solis & planetarum, fine virtutis diminutione; quaeque agit non pro quantitate superficierum particularum in quas agit (ut solent causae mechanicae) sed pro quantitate materiae solidae & cujus actio in immensas distantias undique extenditur, decrescendo semper in duplicata ratione distantiarum. Gravitatio in Solem componitur ex gravitatibus in singulas solis particulas, & recedendo a sole decrescit accurate in duplicata ratione distantiarum ad usque orbem Saturni, ut ex quiete apheliorum planetarum manifestum est, & ad usque ultima cometarum aphelia, si modo aphelia illa quiescant. Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur *hypothesis* vocanda est; & hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu mechanicae, in *philosophia experimentalis* locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, & redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, & impetus corporum & leges motuum & gravitatis innotuerunt. Et satis est quod gravitas revera existat, & agat secundum leges a nobis expositas, & ad corporum caelestium & maris nostri motus omnes sufficiat.
- 5.31 4. Spatium est entis quatenus ens affectio. Nullum ens existit vel potest existere quod non aliquo modo ad spatium refertur. Deus est ubique, mentes creatae sunt alicubi, et corpus in spatio quod implet, et quicquid nec ubique nec ullibi est id non est. Et hinc sequitur quod spatium sit entis primario existentis effectus emanativus, quia posito quolibet ente ponitur spatium.
- 5.32 Def 5. Vis est motus et quietis causale principium. Estque vel externum quod in aliquod corpus impressum motum ejus vel generat vel destruit, vel aliquo saltem modo mutat; vel est internum principium quo motus vel quies corpori indita conservatur, et quodlibet ens in suo statu perseverare conatur & impeditum reluctatur.
- 5.33 Def. 1. Vim centripetam appello qua corpus attrahitur vel impellitur versus punctum aliquod quod ut centrum spectatur.
Def. 2. Et vim corporis seu corpori insitam qua id conatur perseverare in motu suo secundum lineam rectam.
- 5.34 Lex 2. Mutationem motus proportionalem esse vi impressae et fieri secundum lineam rectam quavis illa imprimatur.

- 5.35 Lex I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum suum mutare. Projectilia perseverant in motibus suis, nisi quatenus a resistentia aëris retardantur, & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari, nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem planetarum & cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.
- Lex II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.
- Si vis aliqua motum quemvis generet; dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus (quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur) si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.
- 5.36 Un corps qui a acquis une certaine vitesse de mouvement, continue d'aller avec cette même vitesse, s'il n'y a rien qui agisse a diminuer son mouvement, ni rien qui l'incite de nouveau.
- Si quelque chose agit continuellement a diminuer le mouvement d'un corps, qui est en mouvement, il perdra peu a peu de sa vitesse.
- Et au contraire si quelque chose agit continuellement sur un corps en le pouffant du costè vers le quel il se meut desia, son mouvement recevra continuellement de l'acceleration.
- 5.37 Per leges duas primas & corollaria duo prima Galilaeus descensum gravium esse in duplicata ratione temporis, & motum projectilium fieri in parabola; conspirante experientia, nisi quatenus motus illi per aeris resistentiam aliquantulum retardantur.
- 5.38 Lex III. Actioni contrariam semper & aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales & in partes contrarias dirigi.
- Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Si quis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi allegatum trahit, retrahetur etiam & equus (ut ita dicam) aequaliter in lapidem: nam funis utrinque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit equum versus lapidem, ac lapidem versus equum; tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob aequalitatem pressionis mutuae) subibit. His actionibus aequales fiunt mutationes, non velocitatum, sed motuum; scilicet in corporibus non aliunde impeditis. Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factae, quia motus aequaliter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales. Obtinet etiam haec lex in attractionibus, ut in scholio proximo probabitur.

- 5.39 Secetur terra FI plano quovis EG in partes Figure duas EGF & EGI: & aequalia erunt harum pondera in se mutuo. Nam si plano alio HK quod priori EG parallelum sit, pars major EGI secetur in partes duas EGKH & HKI, quarum HKI aequalis sit parti prius abscissae EFG: manifestum est quod pars media EGKH pondere proprio in neutram partium extremarum propendebit, sed inter utramque in aequilibrio, ut ita dicam, suspendetur, & quiescet. Pars autem extrema HKI toto suo pondere incumbet in partem mediam, & urgebit illam in partem alteram extremam Figure EGF; ideoque vis qua partium HKI & EGKH summa EGI tendit versus partem tertiam EGF, aequalis est ponderi partis HKI, id est ponderi partis tertiae EGF. Et propterea pondera partium duarum EGI, EGF in se mutuo sunt aequalia, uti volui ostendere. Et nisi pondera illa aequalia essent, terra tota in libero aethere fluitans ponderi majori cederet, & ab eo fugiendo abiret in infinitum.
- 5.40 Lex II. Motum [in spatio vel immobili vel mobili (deleted)] genitum proportionalem esse vi motrici impressae & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.
- 5.41 [et hic motus corpus ante vim impressam quiescent computandus est in spatio immobili juncta determinationem vis in quo corpus absque (?) vi impressa relative quies-cerat]. Et vis eadem eundem motum motu in spatio uniformiter movente ac in spatio immobili generabit.
- 5.42 Si corpus A ante vim impressam movebatur & motu quam habuit in A uniformiter continuato distantiam Ab dato tempore describere posset et interea a vi impressam in datam plagam urgeatur, cogitandum erit quod locus in quo corpus relative quiescit movetur una cum corpora ab A ad B quodque corpus par vim impressam deturbatur de loco hoc (?) mobilis ad ab eo migrat in plagam vis illius impressam cum motu qui vi eidem (?) proportionalis est dato illo tempore. Ideoque si vis determinatur verbi gratia in plagam recte AC ac dato illo tempore corpus motu omni privatum impellere posset a loco immobilis A ad locum C, age BD ipsi AC parallelam et aequalem eodem tempora ex mente (?) Legis huius impellet corpus idem a loco suo mobili B ad locum novum D. Corpus igitur movebitur in linea a obliqua AD cum motu qui oritur ex motu loci sui relativi ab A ad B ea motu corpores ab hoc loco ad cocum alius D id est motu AB quam corpus ante vim impressam participabat et motu BD quam vis impressa per hanc legem generat. Ex hisce duobus motibus secundum determinationes sua coniunctis oriatur motus corporis linea AD.
- 5.43 Unde translatio corporis de a ad b parallela erit et equalis translationis corporis eiusdem de A ad B quam vis eadem eodem tempore cum eadem directione in corpus illud motu omni privatum agendo generare potuisset.
- 5.44 Cas. 2. Eodem argumento si corpus dato tempore vi sola M in loco A impressa ferretur uniformi cum motu ab A ad B & vi sola N non simul & semel sed perpetuo impressa ferretur accelerato cum motu in rena AC ab A ad C [,] compleatur parallelogrammum ABDC & corpus vi utraque ferretur eodem tempore ab A ad D. Nam reperietur in fine temporis tam in linea CD quam in linea BD et propterea.

- 5.45 In corporibus eiusdem ponderis differentia materiae, quae vel minor esset quam pars millesima materiae totius, his experimentis manifesto deprehendi potuit.
- 5.46 Definitio I. Quantitas materiae est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim.
Aer densitate duplicata, in spatio etiam duplicato, fit quadruplus; in triplicato sextuplus. Idem intellige de nive & pulveribus per compressionem vel liquefactionem condensatis. Et par est ratio corporum omnium, quae per causas quascunque diversimode condensantur. Medii interea, si quod fuerit, interstitia partium libere pervadentis, hic nullam rationem habeo. Hanc autem quantitatem sub nomine corporis vel massae in sequentibus passim intelligo. Innotescit ea per corporis cujusque pondus: Nam ponderi proportionalem esse reperi per experimenta pendulorum accuratissime instituta, uti posthac docebitur.
- 5.47 Propositio VI. Theorema VI. Corpora omnia in planetas singulos gravitare, & pondera eorum in eundem quemvis planetam, paribus distantis a centro planetae, proportionalia esse quantitati materiae in singulis.
- 5.48 Propositio VII. Theorema VII. Gravitatem in corpora universa fieri, eamque proportionalem esse quantitati materiae in singulis.
- 5.49 Corpore cadente gravitas uniformis, singulis temporis particulis aequalibus aequaliter agendo imprimit vires aequales in corpus illud, & velocitates aequales generat: & tempore toto vim totam imprimit & velocitatem totam generat tempori proportionalem.
- 5.50 Propositio I. Theorema I. Areas, quas corpora in gyros acta radiis ad immobile centrum virium ductis describunt, & in planis immobilibus consistere, & esse temporibus proportionales.
- 5.51 Corollarium IV. Et propterea hae figurae ultimae (quoad perimetros acE;) non sunt rectilineae, sed rectilinearum limites curvilinei.
- 5.52 Corollarium II. Si arcuum duorum aequalibus temporibus in spatiis non resistentibus ab eodem corpore successive descriptorum chordae AB, BC compleantur in parallelogrammum ABCU, & hujus diagonalis BU in ea positione quam ultimo habet ubi arcus illi infinitum diminuuntur, producatur utrinque; transibit eadem per centrum virium.
Corollarium III. Si arcuum aequalibus temporibus in spatiis non resistentibus descriptorum chordae AB, BC ac DE, EF compleantur in parallelogramma ABCU, DEFZ; vires in B & E sunt ad invicem in ultima ratione diagonalium BU, EZ, ubi arcus isti in infinitum diminuuntur. Nam corporis motus BC & EF componuntur (per legem corol. 1.) ex motibus Bc, BU & Ef, EZ: atqui BU & EZ, ipsis Cc & Ff aequales, in demonstratione propositionis hujus generabantur ab impulsibus vis centripetae in B & E, ideoque sunt his impulsibus proportionales.
Corollarium IV. Vires quibus corpora quaelibet in spatiis non resistentibus a motibus rectilineis retrahuntur ac detorquentur in orbes curvos sunt inter se ut arcuum aequalibus temporibus descriptorum sagittae illae quae convergunt ad centrum virium, & chordas bisecant ubi arcus illi in infinitum diminuuntur. Nam hae sagittae sunt semisses diagonalium, de quibus egimus in corollario tertio.

- 5.53 *Propositio IV. Theorema IV. Corporum, quae diversos circulos aequabili motu describunt, vires centripetas ad centra eorundem circularum tendere; & esse inter se, ut sunt arcuum simul descriptorum quadrata applicata ad circularum radios.*
- 5.54 *Lemma X. Spatia quae corpus urgente quacunq[ue] vi finita describit, sive vis illa determinata & immutabilis sit, sive eadem continuo augetur vel continuo diminuatur, sunt ipso motus initio in duplicata ratione temporum.*
- 5.55 *Propositio V. Theorema V. Si corpus in spatio non resistente circa centrum immobile in orbe quocunq[ue] revolvatur, & arcum quemvis jamjam nascentem tempore quam minimo describat, & sagitta arcus duci intelligatur, quae chordam bisecet, & producta transeat per centrum virium: erit vis centripeta in medio arcus, ut sagitta directe & tempus bis inverse.*
- 5.56 *Propositio XI. Problema VI. Revolvatur corpus in ellipsi: requiritur lex vis centripetae tendentis ad umbilicum ellipseos.*
[...]
Ergo (per corol. 1. & 5. prop. VI.) vis centripeta reciproce est ut, id est, reciproce in ratione duplicata distantiae SP.
- 5.57 *Proposition XVII. Posito quod vis centripeta sit reciproce proportionalis quadrato distantiae a centro, & quod vis illius quantitas absoluta sit cognita; requiritur linea, quam corpus describit de loco dato cum data velocitate secundum datam rectam egrediens.*
- 5.58 *Corollarium I. Ex tribus novissimis Propositionibus consequens est, quod si corpus quodvis P, secundum lineam quamvis rectam PR, quacunq[ue] cum velocitate exeat de loco P, & vi centripeta quae sit reciproce proportionalis quadrato distantiae locorum a centro, simul agitetur; movebitur hoc corpus in aliqua sectionum Conicarum umbilicum habente in centro virium; & contra. Nam datis umbilico & puncto contactus & positione tangentis, describi potest sectio Conica quae curvaturam datam ad punctum illud habebit. Datur autem curvatura ex data vi centripeta: & Orbes duo se mutuo tangentes, eadem vi centripeta describi non possunt.*
- 5.59 *Propositio XV. Theorema VII. Iisdem positis, dico quod tempora periodica in ellipsis sunt in ratione sesquuplicata majorum axium.*
- 5.60 *Est-ce là une vérité qui s'impose a priori a l'esprit? S'il en était ainsi, comment les Grecs l'auraient-ils méconnue? Comment auraient-ils pu croire que le mouvement s'arrête des que cesse la cause qui lui avait donne naissance? ou bien encore que tout corps, si rien ne vi en t le contrarier, prendra un mouvement circulaire, le plus noble de tous les mouvements?*
- 5.61 *Un corps une fois mis en repos, se saurait en sortir de lui même, et une fois mis en mouvement, il ne saurait de lui même changer ni sa vitesse, ni la direction de cette vitesse.*
- 5.62 *Notionem virium seu virtutis (quam Gemani vocant kraft, Galli la force) cui ego explicandae peculiarem Dynamices scientiam destinavi, plurium lucis afferre at vera notionem substantiae intelligendam.*
- 5.63 *Nous désapprouvons la méthode de ceux qui supposent comme les Scholastiques d'autrefois, des qualités déraisonnable, c'est à dire, des qualités*

- primitives, qui n'ont aucune raison naturelle, explicable par la nature du sujet a qui cette qualité doit convenir [...] Nous accordons et nous soutenons avec eux, et nous avons soutenu avant qu'ils ayant fait publiquement que les grandes globes de notre système, d'une certaine grandeur, sont attractive entre eux: mais comme nous soutenons, que cela ne peut arriver que d'une manière explicable, c'est à dire, par une impulsion des corps subtils, nous ne pouvons point admettre que l'attraction est une propriété primitive essentielle à la matière, comme ces messieurs le prétend.
- 5.64 Cela étant, nous pouvons dire que la nature d'une substance individuelle ou d'un être complet est d'avoir une notion si accomplie qu'elle soit suffisante à comprendre et à en faire déduire tous les prédicats du sujet à qui cette notion est attribuée.
- 5.65 Vel hinc judicari potest, debere in corporea substantia reperiri entelechiam primam, tandem *πρώτον δεκτικόν* activitatis, vim scilicet motricem primitivam, quae praeter extensionem (seu id quod este mere geometricum) et praeter molem (seu id quod mere materiale) superaddita, semper quidem agit, sed tamen varie ex corporum concursibus per conatus impetusve modificatur. Atque hoc ipsum substantiale principium est, quod in viventis anima, in aliis forma substantialis appellatur.
- 5.66 Vis passiva est ipsa Resistentia, per quem corpus resistit non tantum penetrationi, sed et motui, et per quam sit, ut corpus aliud in locum ejus subire non possit nisi ipso cedente, ipsum vero non cedat nisi motu impellentis nonihil tardato, atque ita perseverare conetur in priore statu [...]. Itaque duo insunt Resistentia sive Massae: Primun Antypia ut vocant seu impenetrabilitatis, deinde Resistentia seu quod Keplerus vocat corporum inetraiae natuaem.
- 5.67 Hinc Vis quoque duplex: alia elementaris, quam et mortuam appello, quia in ea nondum existit motus, sed tantum sollicitatio ad motum, qualis est globi in tubo, aut lapidis in funda, etiam dum adhuc vinculo tenetur; alia vero vis ordinaria est, cum motu actuali conjuncta, quam voco vivam. Et vis mortuae quidem exemplum est ipsa vis centrifuga, itemque vi. gravitatis seu centripeta, vis etiam qua Elastrum tensus se restituere incipit. Sed in percussione, quae nascitur a gravi jam aliquamdiu cadente, aut ab arcu se aliquamdiu restituente, aut a simili causa vis est viva, ex infinitis vis mortuae impressionibus continuatis nata. Et hoc est quod Galilaeus voluit, cum aenigmatica loquendi ratione percussiois vim infinitam dixit, scilicet si cum simplice gravitatis nisu comparetur. Etsi autem impetus cum vi viva semper sit conjunctus, differre tamen haec duo infra ostendetur.
- 5.68 Eodem modo etiam fit, ut gravi descendente, si fingatur ei quovis momento nova aequalisque dari celeritatis accessio infinite parva, vis mortuae simul et vivae aestimatio observetur, nempe ut celeritas quidem acquabiliter crescat secundum tempera, sed vis ipsa absoluta secundum spatia seu temporum quadrata, id est secundum effectus. Ut ita secundum analogiam Geometriae seu analysis nostrae sollicitationes sint ut dx , celeritates ut dx , vires ut xx seu ut $\int xdx$.
- 5.69 Et il est à propos de considérer que l'équilibre consiste dans un simple effort (conatus) avant le mouvement, et c'est que j'appelle la force morte qui a la

même raison a l'égard de la force vive (qui est dans le mouvement même) que le point A à la ligne. Or, au commencement de la descente, lorsque le mouvement est infiniment petit, les vitesses ou plutôt les éléments des vitesses son comme les descentes, ou lieu qu'après l'accélération, lorsque la force est devenue vive, les descentes sont comme les carrées des vitesses.

- 5.70 Circulationem voco Harmonicam, si velocitates circulandi, quae sunt in aliquo corpore, sint radiis seu distantis a centro circulationis reciproco proportionales, vel (quod idem) si ea proportione decrescant velocitates circulandi circa centrum, in qua crescunt distantiae a centro, vel brevissime, si crescant velocitates circulandi proportione viciniarum. Ita enim si radii seu distantiae crescant aequabiliter seu arithmetice, velocitates decrescent harmonica progressionem. Itaque non tantum in arcibus circuli, sed et in curva alia quacunq; describenda circulatio harmonica locum invenire potest.
- 5.71 Si mobile feratur circulatione harmonica (quicumq; sit motus paracentricus), erunt areae radiis ex centro circulationis ad mobile ductis abscissae temporibus insumptis proportionales, et vicissim.
- 5.72 Conatus centrifugi mobilis harmonice circulantis sunt in ratione radiorum reciproca triplicata. Sum enim (per praecedentem) in reciproca radiorum et directa duplicata velocitatum, id est (quia velocitates circulationis harmonicae sunt reciproce ut radii) duplicata reciproca radiorum; ex simplice autem reciproca et duplicata reciproca fit reciproca triplicata.
- 5.73 Si mobile quod gravitatem habet, vel ad centrum aliquod trahitur, qualem planetam respectu Solis ponimus, feratur in Ellipsi (aut alia sectione con) circulatione harmonica, sitque in foco Ellipseos centrum tam attractionis quam circulationis, erunt attractiones seu gravitatis sollicitationes ut quadrata circulationum directe, seu ut quadrata radiorum sive distantiarum a foco reciproce. Hoc ita invenimus non ineleganti specimine nostri Calculi differentialis vel Analyseos infinitorum [...].
- 5.74 1. Définition. De la force égale, moindre, et plus grande. Lorsqu'il y a deux états tellement faits que si l'un pouvait être substitué à la place de l'autre sans aucune action du dehors, il s'ensuivrait un mouvement perpétuel mécanique, on dira que la force aura été augmentée par cette substitution, ou que la force de l'état substitué sera plus grande, et que celle de l'état pour lequel on l'a substitué était moindre; mais que si la force est ni moindre ni plus grande elle est égale.
Scolie. J'appelle ici état (statum) un corps ou plusieurs pris avec certaines circonstances de situation, de mouvement, etc. J'ai voulu me servir de cette marque extérieure de la force augmentée qui est la réduction au mouvement perpétuel pour m'accommoder davantage aux notions populaires, et pour éviter les considérations métaphysiques de l'effet et de la cause. Car pour expliquer les choses, a priori, il faudrait estimer la force par la quantité de l'effet prise d'une certaine manière qui a besoin d'un peu plus d'attention pour être bien entendue.
- 5.75 Axiome 1. La même quantité de la force se conserve, ou bien, l'effet entier est égal a la cause totale.

Scolie. Cet axiome est d'aussi grand usage pour la mécanique, que celui qui dit que *le tout est égal à toutes ses parties prises ensemble*, est utile dans la géométrie; l'un et l'autre nous donnant moyen de venir à des équations; et à une manière d'analyse. Il s'ensuit qu'il n'y a point de mouvement perpétuel mécanique, et même qu'il n'arrivera jamais que la nature substitue un état à la place de l'autre s'ils ne sont d'une force égale. Et si l'état L se peut substituer à la place de l'état M il faut que réciproquement l'état M se puisse substituer à la place de l'état L sans crainte du mouvement perpétuel, par la définition de la force égale ou inégale, que nous avons donnée.

- 5.76 Axiome 2. Il faut autant de force pour élever une livre à la hauteur de 4 pieds qu'il en faut pour élever 4 livres à la hauteur d'un pied.

Scolie. Cet axiome est accordé. On le pourrait démontrer néanmoins par l'Axiome 1 et autrement. Et sans cela il serait aisé d'obtenir le mouvement perpétuel.

- 5.77 Il faut sur tout considerer que j'ai parlé de la force qui sert pour lever un poids a quelque hauteur, *la quelle force a toujours deux dimensions* & non de celle qui sert en chaque point pour le soutenir, la quelle n'a jamais qu'une dimension, en sorte que ces deux forces diffèrent autant l'une de l'autre *q'une superficie diffère d'une ligne*. Car la même force que doit avoir un clou pour soutenir un poids de 100 livres un moment de temps, lui suffit pour soutenir un an durant, pourvu qu'elle ne diminue point. Mais la même quantité de cette force qui sert a lever ce poids a la hauteur d'un pied ne suffit pas *eadem numero* pour le lever a la hauteur de deux pieds, & il n'est pas plus clair que deux & deux font quatre, qu'il est clair qu'il y en faut employer le double.

- 5.78 Postulatum ou demande 1. On demande que toute la force d'un corps donné puisse être transférée sur un autre corps donné, ou du moins, si on suppose cette translation, qu'il n'en arriverait aucune absurdité.

- 5.79 In rebus corporei; esse aliquid praeter extensionem, imo extensione prius, alibi admonuimus. nempe ipsam vim naturae ubique ab Autore inditam, quae, non in simplici facultate consistit, qua Scholae contentae fuisse videntur, sed praeterea conatu sive nisu instruitur, effectum plenum habituro, nisi contrario conatu impediatur. Hic nisus passim sensibus occurrit, et meo iudicio ubique in materia ratione intelligitur, etiam ubi sensui non patet.

- 5.80 Hinc Vis quoque duplex: alia elementaris, quam et mortuam appello, quia in ea nondum existit motus, sed tantum sollicitatio ad motum, qualis est globi in tubo, aut lapidis in funda; etiam dum adhuc vinculo tenetur; alia vero .vis ordinaria est, cum motu actuali conjuncta, quam voco vivam. Et vis mortuae quidem exemplum est ipsa vis centrifuga, itemque vis gravitatis seu centripeta, vis etiam qua Elastrum tensus se restituere incipit. Sed in percussione, quae nascitur a gravi jam aliquamdiu cedente, aut ab arcu se aliquamdiu restituente, aut a simili causa vi est viva, ex infinitis vis mortuae impressionibus continuatis nata. Et hoc est quod Galilaeus voluit, cum aenigmatica loquendi ratione percussionis vim infinitam dixit, scilicet si eum simplice gravitatis nisu comparatur. Etsi autem impetus cum vi viva semper sit conjunctus, differre tamen haec duo infra ostendetur.

- 5.81 Porro ad veram virium aestimationem, et quidem prorsus tandem, diversissimis itineribus perveni: uno quidem a priori, ex simplicissima consideratione spatii, temporis et actionis (quod alias exponam), altero a posteriori, vim scilicet aestimando ab effectu quem producit se consumendo. Nam effectum hic intelligo non quemlibet, sed cui vis impendi seu in quo consumi debet, quam ideo violentum appellare possis, qualis non est ille, quem corpus; grave in plano perfecte horizontali percurrendo exeret, quia mi effectu utrunque, producto eandem semper vim retinet, quamquam et hoc ipso effectu, ut ita dicam, innocuo recte adhibito, non nostram: aestimandi rationem consecuti simus, sed nunc a nobis seponetur. Elegi autem effectum ex violentia illum, qui maxime capax est homogenei seu divisionis in partes similes et aequalem qualis est in ascensu corporis gravitate praediti: nam elevatio gravis ad duos vel tres pedes praecise dupla vel tripla est elevationis gravis ejusdem ad pedem unum; et elevatio gravis dupli ad unum pedem facta, praecise dupla est elevationis gravis simpli ad altitudinem pedis unius; unde elevatio gravis dupli ad tres pedes praecise sextupla est elevationis gravis simpli ad pedem unum, supposito scilicet (saltem docendi causa, etsi aliter fortasse in veritate se res habeat, sed insensibili tamen hic errore) gravia aquae gravitate in majore aut minore ab horizonte distantia.
- 5.82 Si casus ad casum continue accedat in datis tandemque in ipsum evanescat, necesse est ut etiam eventus casuum sibi continue accedant in quaesitis tandemque in se invicem desinant.
- 5.83 Intelligi etiam ex dictis potest, Motum communem pluribus corporibus ipsorum inter se actiones non mutare, quoniam celeritas qua sibi invicem appropinquant, adeoque vis concursus qua in se invicem agunt, non immutatur. Unde consequuntur praeclara experimenta quae retulit Gassendus in Epistolis de motu impresso a motore trans- lato, ut illis satisfaceret, qui ex motu projectorum quietem globi terrae . inferre posse sibi videbantur. Cum tamen certum sit, si què in magna, navi (clausa si placet, vel certe ita constituta, ut externa a vectoribus notari nequeant) ferantur, navis autem magna licet celeritate, placide tamen sive aequabiliter moveatur, ipsos nullum habituros principium discernendi (ex iis scilicet quae in navi contingunt) utrum navi: quiescat an moveatur, etiamsi forte pila in navi ludatur, aliive motus exerceantur. Idque notandum est in eorum gratiam, qui non recte percepta Copernicanorum sententia credunt, secundum hos projecta ex terra in aërem; ab aëre enim tellure gyrante abripi, atque ita motum fundi sequi, et perinde in terram recidere ac si haec quievisset; quod merito insufficiens judicatur, Cum doctissimi qui utuntur Hypothesi Copeornicana potius concipiant, quicquid in terrae superficie est cum terra moveri, et proinde arcu mi tormento excussa, impetum a terrae gyratione impressum una cum impetu projectione impresso, sacum deferre.
- 5.84 Cela se peut prouver à priori indépendamment des règles du mouvement receues, et c'est ce que j'ai montré plusieurs fois par des différentes voies.
- 5.85 I. Equation Lineale, qui exprime la conservation de la cause du choc on de la vitesse respective

$$v - y = z - x$$

et $v-y$ signifie la vitesse respective entre les corps avant le choc avec laquelle ils s'approchent, et $z-x$ signifie la vitesse respective avec laquelle ils s'éloignent après le choc. Et cette vitesse respective est toujours de la même quantité avant ou après le choc, suppose que les corps soient bien élastiques, c'est ce que dit cette équation. Il faut seulement remarquer que les signes variant dans l'explication du détail, cette règle générale renfermerons les cas particuliers. Ce qui arrive aussi dans l'équation suivante:

II. Équation plane, qui exprime la conservation du progrès commun ou total des deux corps

$$av + by = ax + bz$$

j'appelle progrès icy la quantité de mouvement qui va du côté du centre de gravité, de sorte que si le corps b par exemple allait du sens contraire avant le choc, et qu'ainsi sa vitesse conspirante fut negative on fut exprimée par $-(y)$, entendant par (y) moiem on ce qu'ii y a de positif dans y , alors le progrès d'a sera av , le progrès de b sera $-b(y)$. Et le progrès total sera $av - b(y)$, qui est la différence des quantités de mouvement des deux corps. Si les corps a et b vont d'un même côté avant et après le choc, ces lettres v, y, x, z ne signifient que des vélocités conspirantes véritables ou affirmative, et par conséquent dans ce cas il paroisse par cette équation que la même quantité de mouvement se conservera après et avant le choc. Mais si les corps a et b allaient en sens contraire avant le choc et en même sens après le choc, la différence de la quantité de mouvement avant le choc serait égale a la somme de la quantité de mouvement après le choc. Et il y aura d'autres variations semblables selon la variation des signes des lettres y, x, z .

III. Équation Solide, qui exprime la conservation de la force totale absolue ou de l'Action Motrice

$$avv + byy = axx + bzz.$$

Cette équation a cela d'excellent, que toutes les variations des signes qui ne peuvent venir que de la diverse direction des vitesses y, x, z, y , cessent, par ce que toutes les lettres qui expriment ces vitesses montent ici au carré. Or $-y$ et $+y$ ont le même carré $+yy$, de sorte que toutes ces différentes directions d'y font plus rien. Et c'est aussi pour cela que cette équation donne quelque chose d'absolu, indépendant des vitesses respectives, ou des progrès d'un certain côté. Il ne s'agit icy que d'estimer les masses et les vitesses, sans-se mettre en peine de quel côté vont ces vitesses. Et c'est ce qui satisfait en même temps a la rigueur des mathématiciens et au souhait des philosophes, aux expériences et aux raisons tirées de différents principes.

- 5.86 Pour montrer cela, feignons qu'un globe dur non-élastique aille choquer un globe pareil en repos: après le choc il faut ou que les deux globes se reposent, en quel cas la loi de la conservation de la force serait violée.

[...]

D'où vient que dans le choc de tels corps une partie de la force est absorbée par les petites parties qui composent la masse, sans que cette force soit rendue au total: et cela doit toujours arriver lorsque la masse pressée ne se remet point parfaitement.

[...]

Cependant ce déchet de la force totale ou ce manquement de la troisième Équation ne déroge point à la vérité inviolable de la loi de la conservation de la même force dans le monde. Car ce qui est absorbé par les petites parties, n'est point perdu absolument pour l'univers, quoiqu'il soit perdu pour la force totale des corps concourants.

Quotations of Chapter 6

- 6.1 Quae autem quantitates hoc modo ab aliis pendent, ut his mutatis etiam ipsae mutatione subeant, ea harum functiones appellari solent; quae denominatio latissime patet, atque omnes modos, quibus una quantitas per alias determinari potest in se complectitur. Si igitur x denotet quantitatem variabilem, omnes quantitas, quae utcumque ab x pendent, seu per eam determinantur, eius functiones locatur,
- 6.2 Theoriae oscillationum, quas adhuc Auctores pro corporibus dederunt solidis, invariatur partium situm in illis ponunt, ita ut singula communi motu angulari ferantur. Corpora autem, quae ex filo flexili suspenduntur, aliam postulant theoriam, nec sufficere ad id negotium videntur principia communiter in mechanica adhiberi solita, incerto nempe situ, quem corpora inter se habeant, eodemque continue variabili.
- 6.3 Sed quod omnibus scriptis, quae sine analysi sunt composita, id potissimum Mechanicis obtingit, ut Lector, etiamsi de veritate eorum, quae proferuntur, convincatur, tamen non satis claram et distinctam eorum cognitionem assequatur, ita ut easdem quaestiones, si tantillum immutentur, proprio Marte vix resolvere valeat, nisi ipse in analysi inquirat easdemque propositiones analytica methodo evolvat. Idem omnino mihi, cum Newtoni Principia et Hermanni Phoronomiam perlustrare coepissem, usu venit, ut, quamvis plurimum problematum solutiones satis percepisse mihi viderer, tamen parum tantum discrepantia problemata resolvere non potuerim
- 6.4 Pour ce qui regarde la Force, je tacherai de développer l'Équivoque qu'il y a dans ce Mot, aussi bien que dans celui de Mouvement: on verra que dans ce qui regarde la Mesure de la Force, il y a, entre les Sentiments de plusieurs de ceux qui disputent, plus de mal étendu, que de différence véritable; & après voir éclairci quelques Difficultés, je passerai au Choc où on verra, que ce qui n'était d'abord qu'une Dispute de Mots, devient une Dispute sur Chose même.
- 6.5 Quelles sont les lois suivant lesquelles un corps parfaitement dur, mis en mouvement, en meut un autre de même nature, soit en repos, soit en mouvement, qu'il rencontre, soit dans le vide, soit dans le plein.

- 6.6 In corporum motibus quibus cunque, nihil virium perditur aut interit nisi effectu edito et exstante ad quem producendum tantundem virium requiritur quantum est id quod decessit. Vires voco potentiam extollendi ponderis. Ita dupla vis est quae idem pondus duplo altius extollere potest.
- 6.7 La force vive est: celle qui réside dans un corps, lorsqu'il est dans un mouvement uniforme; & la force morte, celle que reçoit un corps sans mouvement, lorsqu'il est sollicité & pressé de se mouvoir, ou à se mouvoir plus ou moins vite, lorsque ce corps est déjà en mouvement.
- 6.8 Soient A & B deux corps, leurs vitesses avant le choc a & b , & leurs vitesses après le choc x & y ; supposons d'abord qu'avant & après le choc, ces corps se meuvent du même côté. La première conservation donnera $a - b = y - x$; la seconde $aA + bB = Ax + By$; j'en déduis la troisième de cette manière: Par la transposition des termes, il vient $a + x = y + b$, & $Aa - Ax = By - Bb$; qu'on multiplie les membres de ces deux équations, savoir $Aa - Ax$, par $a + x$ & $By - Bb$, par $y + b$, les produits donneront une nouvelle équation $Aaa - Axx = Byy - Bxx$, laquelle, par la transposition des termes, se changera en $Aaa + Bbb = AAxx + Byy$, formule qui exprime parfaitement ce qu'on cherche; je veux dire la conservation de la somme des produits des masses par les carrés des vitesses.
- 6.9 Section VI. Corpus continuo pressum, & a quiete ad motum accelerando perductum ope elastri, donec hoc per sui dilatationem omnem suam vim exhauerit, atque gradatim in corpus propulsum transtulerit, merito dicitur corpus in tali vel tali motu uniformi finaliter acquisito constitutum, quod ab initio quieverat, possidere solum omnem vim vivam, quam ab elastro (cui nihil amplius remanet virium,) accepit. Dictat hoc clarus conceptus, quem habemus de perfecta aequalitate inter causam efficientem atque effectum plenum & adaequatum. Extrinsecus enim nihil aliud datur, ut supponimus, praeter corpus, quod partem aliquam virium elastri in se recipiendo insumat.
[...]
- Section VII. Haec ipsa perfecta aequalitas inter causam & effectum porro confirmatur, si attendimus, quid fiat, si, jam mutato effectu in causam, corpus cum acquisita sua velocitate in directionem contrariam vertatur, ita, ut in elastrum laxatum recurat; annon vel solo rationis lumine percipimus, elastrum in pristinum tensionis statum restitutum iri, postquam omnis motus in corpore ab elastri resistentia absumtus fuerit? Atque ita alternatim accipere possunt reddereque vicissim.
- 6.10 Theorema 2. Sit curva data CbB , per quam descendat grave B post se in altum trahens aliud grave minus A ope funiculi ACB trochleam C ambientis. Quaeruntur velocitates ponderum A et B ?
Sit $CB = x$, $EB = y$, earum differ. $Bn = dx$, $Bo = dy$, $Bb = ds$, altitudo verticalis TV , per quam grave liberum cadens celeritatem acquirit, quam mobile B habet = t , erit $t = ds^2(By - Ax) : (Bds^2 + Adx^2)$.
- 6.11 Theorema 8. Sit grave aliquod cuiuscunque figurae BFG , cuius centrum gravitatis sit C , ex quo et radio CA descriptus AHL circulus repraesentet axem, cui circumvolutum intelligatur filum aliquod secundum ordinem litterarum

EALHALHAL &c. Ipsum vero grave sua gravitate descendere concipiatur, id quod fieri non potest nisi rotando, dum nimirum axis ex filo sese evolvit hoc litterarum ordine AHLAHL. Quaeritur, postquam ex altitudine EA quacunquē descenderit grave, quanta sit velocitas centri C?

SOLUTIO. Vocetur D distantia a centri oscillationis figurae rotantis a puncto suspensionis, quod ubicunque in circumferentia AHL sumi potest. Sit radius CA = a ; EA altitudo verticali s , per quam grave rotando descendit, = R ; altitudo quaesita per quam grave aliquod liberum descendere debet, ut acquirat velocitatem aequalem illi quam habet gravis rotantis centrum gravitatis C, = z ; dico fore $z = aR : D$.

- 6.12 Si pondera quotlibet vi gravitatis sua moveri incipiant utcunque, singulorum velocitates ubique tales fore, ut producta, ex earum quadratis in suas massas collecta, sint proportionalia altitudini verticali, per quam centrum gravitatis ex corporibus composita descendit, multiplicata per massas omnium.
- 6.13 Existente eadem potentia absoluta dico omnes machinas, quae nullas patiuntur frictiones & quae nullos motus ad propositum finem inutiles generant, eundem effectum praestare neque unam alteri praeferendam esse.
- 6.14 Sed ex descensu ponderis $(P+p)$ per altitudinem x generatur *vis viva potentialis* $(P+p)x$, & cum sustentaculum es is situ GH, inest corpori $(P+p)$ *vis viva actualis* $1/2(P+p)vv$, id est $(P+p)x - ap \log a/(a-x)$, quae a priori deficit quantitate $ap \log a/(a-x)$, haecque in compressione aeris transit.
- 6.15 Indiquions les masses des corps, qui composent le système, par m, m', m'', m''' , &c. leurs vitesses par v, v', v'', v''' , &c. qu'on considère ensuite chaque corps comme détaché du système, & qu'animé par la gravitation il parte du même point & parvienne au même point, décrivant un chemin quelconque; sera facile de déterminer la vitesse, que ce corps détaché du système doit prendre; nous exprimerons ces autres vitesses par u, u', u'', u''' , &c. Là dessus le principe de la conservation des forces vives sera généralement exprimé par cette équation

$$mvv + m'v'v' + m''v''v'' + m'''v'''v''' + \&c. \\ = muu + m'u'u' + m''u''u'' + m'''u'''u''' + \&c.$$

- 6.16 S'il y a pour cette hypothèse un système de plusieurs corps, si l'on marque encore les masses de ces corps par m, m', m'', m''' , &c. enfin si on exprime la gravitation accélératrice par 1, & que l'on nomme les hauteurs vertical parcourriez par le corps du système x, x', x'' , & c., on aura: $uu = 2x$; $u'u' = 2x'$; $u''u'' = 2x''$ $u'''u''' = 2x''$ &c., & l'équation générale du Sect. 2 donne:

$$mvv + m'v'v' + m''v''v'' + m'''v'''v''' + \&c. \\ = 2mx + 2m'x' + 2m''x'' + 2m'''x''' + \&c.$$

- 6.17 Potentia est vis corpus vel ex quiete in motum perducens vel motum eius alterans. Huiusmodi vis ideoque et potentia est gravitas; per eam enim corpora,

remotis impedimentis, ex quiete deorsum delabuntur, motusque ipse descensus ab ea continuo acceleratur.

- 6.18 Moveatur punctum in directionem AM et sollicitetur, dum per spatium Mm percurrit, a potentia p secundum eandem directionem trahente; erit incrementum celeritatis, quod interea punctum acquirit, ut potentia sollicitans ducta in tempusculum, quo elementum Mm percurritur.
- 6.19 Vis inertiae cuiuscunque corporis proportionis est quantitati materiae, ex qua constat.
[...]
Vis inertiae est vis in quovis corpore insita in statu suo quietis vel motus aequalis in directum permanendi.
- 6.20 Si igitur universam materiam in huiusmodi aequalia puncta seu elementa concipiamus divisam, quantitatem materiae cuiusque corporis ex numero punctorum, ex quibus est compositum, aestimari necesse est. Vim autem inertiae proportionalem esse huic punctorum numero seu quantitati materiae in sequenti proportione demonstrabimus.
- 6.21 Corpora autem omnia aequaliter in spatio vacuo descendere per experimenta constat, et propterea omnia a vi gravitatis aequaliter accelerantur. Quo circa necesse est, ut vis gravitatis in singula corpora agens eorum quantitati materiae sit proportionalis. Pondus vero corporis indicat vim gravitatis, qua illud sollicitatur.
- 6.22 Congruente puncti directione motus cum potentiae directione erit incrementum celeritatis ut potentia ducta in tempusculum et divisa per materiam seu quantitatem puncti.
- 6.23 Enfin suivant ma méthode, je ne suis pas obligé d'avoir égard à la courbure de la ligne, que le corps décrit, & par ce moyen j'évite quantité de recherches pénibles, surtout quand le mouvement du corps ne se fait point dans le même plan.
- 6.24 Cela pos, prenant l'élément du temps dt pour constant, le changement instantané du mouvement du Corps sera exprimé par ces trois équations:

$$\text{I. } \frac{2ddx}{dt^2} = \frac{X}{M}; \quad \text{II. } \frac{2ddy}{dt^2} = \frac{Y}{M}; \quad \text{III. } \frac{2ddz}{dt^2} = \frac{Z}{M},$$

d'où, l'on pourra tirer pour chaque temps écoulé t les valeurs x, y, z & par conséquent l'endroit où le Corps se trouvera.

- 6.25 XVIII. Quoique les principes dont il s'agit ici soient nouveaux, entant qu'ils ne sont pas encore connus ou étalés par les Auteurs, qui ont traité la Mécanique, on comprend néanmoins, que le fondement de ces principes ne saurait être nouveau, mais qu'il est absolument nécessaire, que ces principes soient déduits des premiers principes, ou plutôt des axiomes, sur lesquels toute la doctrine du mouvement est établie.

[...]

XIX. On trouve ordinairement plusieurs tels principes, qui semblent devoir être mis au rang des axiomes de la Mécanique, puisqu'ils se rapportent aux

- mouvement des corps infiniment petits; or je remarque que tous ces principe: se réduisent à un seul qu'on peut regarder comme l'unique fondement de toute la Mécanique & des autres Sciences, qui traitent du mouvement des corps quelconques.
- 6.26 Car le mouvement du corps entier est composé des mouvements de tous ces éléments, & le mouvement de chacun doit suivre le principe, que je vient d'expliquer [the Euler equation of motion for the mass point], étant que chaque élément participe des forces, qui agissent sur le corps, & qu'il est outre cela sollicité par de certaines forces, qui l'empêchent, qu'il n'abandonne la connexion avec les autres.
- 6.27 Or il est à remarquer que les forces internes se détruisent mutuellement, de sorte que la continuation du mouvement ne demande des forces externes, qu'entant que ces forces ne se détruisent pas mutuellement.
- 6.28 *Massa corporis vel quantitas materiae vocatur quantitas inertiae, quae in eo corpore inest, qua tam in statu suo perseverare quam omni mutationi reluctari conatur.*
Corollarium. Massa ergo seu quantitas materiae corporum non ex eorum magnitudine, sed ex quantitate inertiae, qua in statu suo perseverare conantur omnique mutationi reluctantur, aestimari debet.
- 6.29 *Centrum massae seu centrum inertiae est punctum in quovis corpore, circa quod eius massa seu inertia quaquaversus aequaliter est distributa secundum aequalitatem momentorum.*
Centrum massae seu inertiae idem est punctum, quod vulgo centrum gravitatis vocatur.
- 6.30 **PRINCIPE GÉNÉRAL.** Lors qu'il arrive quelque changement dans la nature, la quantité d'action, nécessaire pour ce changement, est la plus petite qu'il soit possible.
 La *Quantité d'Action* est la produit de la Masse des Corps, par leur vitesse & par l'espace qu'ils parcourent. Lors qu'un Corps est transporté d'un lieu dans un autre, l'Action est d'autant plus grande, que la Masse est plus grosse; que la vitesse est plus rapide; que l'espace, par lequel il est transporté est plus long.
- 6.31 Dans le mouvement d'un système quelconque de corps animés par des forces mutuelles d'attraction, ou tendantes à des centres fixes, et proportionnelles à des fonctions quelconques des distances, les courbes décrites par les différents corps, et leurs vitesses, sont nécessairement telles que la somme des produits de chaque masse par l'intégrale de la vitesse multipliée par l'élément de la courbe est un maximum ou un minimum, pourvu que l'on regarde les premiers et les derniers points de chaque courbe comme données, en sorte que les variations des coordonnées répondantes à ces points soient nulles.
- 6.32 **PRINCIPE GÉNÉRAL**—Soient tant de corps qu'on voudra M, M', M'' qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque, et qui soient de plus, si l'on veut, animés par des forces centrales proportionnelles à des fonctions quelconques des distances; que s, s', s'', \dots , dénotent les espaces parcourus par ces corps dans le temps t , et que u, u', u'', \dots soient leurs vitesses à la fin de ce temps; la formule

$$M \int u ds + M' \int u' ds' + M'' \int u'' ds'' + \dots$$

sera toujours un maximum ou un minimum.

- 6.33 Ce principe, envisagé analytiquement, consiste en ce que, dans le mouvement des corps qui agissent les uns sur les autres, la somme des produits des masses par les vitesses & par les espaces parcourus est un minimum. L'auteur en a déduit les lois de la réflexion & de la réfraction de la lumière, ainsi que celles du choc des corps, dans deux Mémoires lus, l'un à l'Académie des Sciences de Paris, en 1744, & l'autre, deux ans après, à celle de Berlin. Mais ces applications sont trop particulières pour servir à établir la vérité d'un principe général; elles ont d'ailleurs quelque chose de vague & d'arbitraire [...]. Mais il y a une autre manière de l'envisager, plus générale & plus rigoureuse, & qui mérite seule l'attention des géomètres. Euler en a donné la première idée à la fin de son *Traité des isopérimètres*, imprimé à Lausanne en 1744, en y faisant voir que, dans les trajectoires décrites par des forces centrales, l'intégrale de la vitesse multipliée par l'élément de la courbe fait toujours un maximum ou un minimum. Cette propriété, qu' Euler avait trouvée dans le mouvement des corps isolés, & qui paraissait bornée à ces corps, je l'ai étendue, par le moyen de la conservation des forces vives, au mouvement de tout système de corps qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque; & il en est résulté ce nouveau principe général, que la somme des produits des masses par les intégrales des vitesses multipliées par' les éléments des espaces parcourus est constamment un maximum ou un minimum. Tel est le principe auquel je donne ici, quoique improprement, le nom de moindre action, & que je regarde, non comme un principe métaphysique, mais comme un résultat simple & général des lois de la Mécanique.
- 6.34 J'ai aussi composé moi-même des éléments de Mécanique et de Calcul différentiel et intégral à l'usage de mes écoliers, et je crois avoir développé la vrai métaphysique de leurs principes, autant qu'il est possible.
- 6.35 Ces forces prises en sens contraire et combiné avec les forces T/R^2 , S/R'^2 , tiennent le système de tous les points α , c'est à dire le mass entière de la Lune, en équilibre atour de son centre de gravité supposé fixe.
- 6.36 C'est un principe généralement vrai en Statique que, si un système quelconque de tant de corps ou de points que l'on veut, tirés chacun par des puissances quelconques, est en équilibre, et qu'on donne à ce système un petit mouvement quelconque, en vertu duquel chaque point parcourt un espace infiniment petit, la somme des puissances, multipliées chacune par l'espace que le point où elle est appliquée parcourt suivant la direction de cette même puissance, sera toujours égale à zéro.
- 6.37 Si l'on imagine que les lignes X, Y, Z, R, R' deviennent, en variant infiniment peu la position de la Lune autour de son centre

$$X + \delta X, Y + \delta Y, Z + \delta Z, R + \delta R, R' + \delta R'$$

il est facile de voir que les différences

$$\delta X, \delta Y, \delta Z, \delta R, \delta R'$$

exprimeront les espaces parcourus en même temps par le point α dans des directions opposées à celles des puissances

$$\alpha \frac{d^2 X}{dt^2}, \quad \alpha \frac{d^2 Y}{dt^2}, \quad \alpha \frac{d^2 Z}{dt^2}, \quad \alpha \frac{T}{R^2}, \quad \alpha \frac{S}{R'^2} dm,$$

qui sont censées agir sur ce point; on aura donc, pour les conditions de l'équilibre, l'équation générale

$$\int_L \left[\alpha \frac{d^2 X}{dt^2} (-\delta X) + \alpha \frac{d^2 Y}{dt^2} (-\delta Y) + \alpha \frac{d^2 Z}{dt^2} dm (-\delta Z) + \alpha \frac{T}{R^2} (-\delta R) + \alpha \frac{S}{R'^2} (-\delta R') \right],$$

savoir, en changeant les signes,

$$\int_L \left(\alpha \frac{d^2 X}{dt^2} \delta X + \alpha \frac{d^2 Y}{dt^2} \delta Y + \alpha \frac{d^2 Z}{dt^2} \delta Z \right) + T \int_L \alpha \frac{\delta R}{R^2} + S \int_L \alpha \frac{\delta R'}{R'^2}.$$

6.38 Pour avoir les valeurs des variations ou différences

$$\delta p, \delta q, \delta r, \dots, \delta p', \delta q', \delta r', \dots$$

on différentiera à l'ordinaire les expressions des distances $p, q, r, \dots, p', q', r'$ mais en regardant les centres des forces comme fixes.

6.39 Soit, pour abrégé,

$$T = m \frac{d^2 x + dy^2 + dz^2}{2dt^2} + m' \frac{d^2 x' + dy'^2 + dz'^2}{2dt^2} + m'' \frac{d^2 x'' + dy''^2 + dz''^2}{2dt^2} + \dots$$

$$V = m \int (P\delta p + Q\delta q + R\delta r + \dots)$$

$$+ m' \int (P'\delta p' + Q'\delta q' + R'\delta r' + \dots)$$

$$+ m'' \int (P''\delta p'' + Q''\delta q'' + R''\delta r'' + \dots)$$

...

Et supposons $x, y, z; x', y', z'; \dots$, exprimée par d'autres variables quelconques $\phi, \psi, \omega, \dots$. On substituera les valeurs de $x, y, z; x', y', z'; \dots$ en $\phi, \psi, \omega, \dots$ dans les deux quantités T et V ; on différenciera ensuite suivant $\delta [\dots]$ Si les variables $\phi, \psi, \omega, \dots$ sont indépendantes entre elles (et l'on peut toujours les prendre telles, qu'elles le soient) on aura sur-le champ, pour le mouvement du système, ces équations particulières:

$$d \frac{\delta T}{\delta d\phi} - \frac{\delta T}{\delta \phi} + \frac{\delta V}{\delta \phi} = 0$$

$$d \frac{\delta T}{\delta d\psi} - \frac{\delta T}{\delta \psi} + \frac{\delta V}{\delta \psi} = 0$$

$$d \frac{\delta T}{\delta d\omega} - \frac{\delta T}{\delta \omega} + \frac{\delta V}{\delta \omega} = 0$$

...

6.40 L'intégrale trouvé deviendra donc:

$$T + V = \text{const.}$$

équation qui n'est autre chose que celle qui renferme le principe connue de la *conservation des forces vives* car il est visible que $2T$ exprime la somme des forces vives actuelles de tous les corps du système et que $\text{const} - 2V$ est égal à la valeur de ces forces en supposant les corps libres et isolés.

- 6.41 On ne trouvera point de Figures dans cet Ouvrage. Les méthodes que j'y expose ne demandent ni constructions, ni raisonnements géométriques ou mécaniques, mais seulement des opérations algébriques, assujetties à une marche régulière et uniforme. Ceux qui aiment l'Analyse verront avec plaisir la Mécanique en devenir une nouvelle branche, et me sauront gré d'en avoir étendu ainsi le domaine.
- 6.42 Si un système quelconque de tant de corps ou points que l'on veut, tirés chacun par des puissances quelconques, est en équilibre, et qu'on donne à ce système un petit mouvement quelconque, en vertu duquel chaque point parcourt un espace infiniment petit qui exprimera sa vitesse virtuelle, la somme des puissances multiplies chacune par l'espace que le point ou elle est appliquée parcourt suivant la direction de cette même puissance, sera toujours égale à zéro, en regardant comme positifs les petits espaces parcourus dans le sens des puissances, et comme négatifs les espaces parcourus dans un sens opposé.
- 6.43 Et en général je crois pouvoir avancer que tous les principes généraux qu'on pourrait encore découvrir dans la science de l'équilibre, ne seront que le même principe des vitesses virtuelles, envisagé différemment, & dont ils ne différeront que dans l'expression. Au reste, ce Principe est non seulement en lui même très simple & très général; il a de plus l'avantage précieux & unique de pouvoir se

traduire en une formule générale qui renferme tous les problèmes qu'on peut proposer sur l'équilibre des corps. Nous allons exposer cette formule dans toute son étendue; nous tâcherons même de la présenter d'une manière encore plus générale qu'on n'est pas fait jusqu'à présent, & d'en donner des applications nouvelles.

- 6.44 Quant à la nature du principe des vitesses virtuelles, il faut convenir qu'il n'est pas assez évident par lui-même pour pouvoir être érigé en principe primitif; mais on peut le regarder comme l'expression générale des lois de l'équilibre, déduites des deux principes que nous venons d'exposer. Aussi, dans les démonstrations qu'on a données de ce principe, on l'a toujours fait dépendre de ceux-ci, par des moyens plus ou moins directs. Mais il y a, en Statique, un autre principe général et indépendant du levier et de la composition des forces, quoique les mécaniciens l'y rapportent communément, lequel paraît être le fondement naturel du principe des vitesses virtuelles; on peut l'appeler le principe des poulies.
- 6.45 Le philosophe Mécanicien doit donc se proposer [...] de déduire les principes de la Méchanique des notions les plus claires, mais encore de les étendre en le réduisant.
- 6.46 La question proposée se réduit donc à savoir si les lois de l'équilibre & du mouvement qu'on observe dans la nature, sont différentes de celles que la matière abandonnée à elle-même aurait suivies.

[...]

Si les unes & les autres sont différentes, il en conclura que les lois de la Statique & de la Méchanique, telle que l'expérience les donne, sont de vérité contingente, puisqu'elles seront la suite d'une volonté particulière & expresse de l'être suprême; si au contraire les lois données par l'expérience s'accordent avec celles que le raisonnement seul a fait trouver, il en conclura que les lois observées sont de vérité nécessaire.

- 6.47 Parmi les philosophes qui s'occupent de la recherche des lois du mouvement, les uns font de la mécanique une science expérimentale, les autres, une science purement rationnelle [...]. Les premiers de ces deux classes de philosophes, partent donc dans leurs recherches, des notions primitives que la nature a imprimées en nous, et des expériences qu'elle nous offre continuellement; les autres partent de définitions et d'hypothèses; pour les premiers, les noms de corps, de puissance, d'équilibre, de mouvement, répondent à des idées premières; ils ne peuvent ni ne doivent définir; les autres au contraire ayant tout à tirer de leur propre lands, sont obligés de définir ces termes avec exactitude, et d'expliquer clairement toutes leurs suppositions; mais si cette méthode paraît plus élégante, elle est aussi bien plus difficile que l'autre; car il n'y a rien de plus embarrassant dans la plupart des sciences rationnelles, et sur-tout dans celle-ci, que de poser d'abord d'exactes définitions sur les quelles il ne reste aucune ambiguïté: ce serait me jeter dans des discussions métaphysiques, bien au dessus de mes forces, que de vouloir approfondir toutes celles qu'on a proposées jusqu'ici: je me contenterai d'examiner la première et la plus simple.

[...]

Les deux lois fondamentales dont je suis parti, sont donc des vérités purement

- expérimentales; et je les ai proposées comme telles. Une explication détaillée de ces principes n'entraîne pas dans le plan de cet ouvrage, et n'aurait peut-être servi qui embrouiller les choses: les sciences sont comme un beau fleuve, dont le cours est facile à suivre, lorsqu'il a acquis une certaine régularité; mais si l'on veut remonter à la source, on ne la trouve nulle part, parce qu'elle est par-tout; elle est répandue en quelque sorte sur toute la surface de la terre; de même si l'on veut remonter à l'origine des sciences, on ne trouve qu'obscurité, idées vagues, cercles vicieux; et l'on se perd dans les idées primitives.
- 6.48 Les anciens Etablirent en axiome que toutes nos idées viennent de sense: et cette grande vérité n'est plus aujourd'hui un sujet de contestation.
- 6.49 3. Cependant les sciences ne tirent pas toutes un même fonds de l'expérience: les mathématiques pures en tirent moins que toutes les autres; ensuite les sciences physico-mathématiques; ensuite les sciences physiques. [...].
4. Il serait sans doute satisfaisant de pouvoir assigner au juste dans chaque science, le point où elle cesse d'être expérimentale pour devenir entièrement rationnelle: c'est-à-dire, de pouvoir réduire au plus petit nombre possible les vérités qu'on est obligé de tirer de l'observation, et qui une fois établies, suffisent pour combinées par le seul raisonnement, elles embrassent toutes les ramifications de la science.: mais cela paraît très-difficile. En voulant remonter trop haut par le seul raisonnement, à donner des définitions obscures, des démonstrations vagues et peu rigoureuses. Il y a moins d'inconvénient à tirer de l'expérience plus de données qu'il ne serait strictement nécessaire [...].
6. C'est donc dans l'expérience que les hommes ont puisé les premières notions de la mécanique. Cependant les lois fondamentales de l'équilibre et du mouvement qui lui servent de base, s'offrent d'une part si naturellement à la raison, et de l'autre, elles se manifestent si clairement par les faits les plus communes, qu'il semble d'abord difficile de dire, si c'est à l'une plutôt qu'aux autres que nous devons la parfaite conviction de ces lois.
- 6.50 Maintenant il s'agit d'établir sur ces faits, et sur les autres observations qui peuvent encore s'offrir, des hypothèses qui se trouvent constamment d'accord avec ces observations, et que dès-lors on peut regarder comme les lois générales de la nature.
- 6.51 Mon objet n'a pas été de les réduire au plus petit nombre possible; il me suffit qu'elles ne soient point contradictoire et qu'elles soient clairement entendues. mais elles ne peuvent être plus propres à confirmer les principes en faisant voir comment ils ne sont, pour ainsi dire, que les mêmes vérités qui reparaissent toujours sous des formes différentes.
- 6.52 En prenant une force quelconque, ou son effet pour l'unité, l'expression de toute autre force n'est plus qu'un rapport, une quantité mathématique qui peut être représentée par des nombres ou des lignes; c'est sous ce point de vue que l'on doit considérer les forces dans la Mécanique.
- 6.53 Pourquoi donc aurions-nous recours à ce principe dont tout le monde fait usage aujourd'hui, que la force accélératrice ou retardatrice est proportionnelle à l'élément de vitesse? [...] Nous n'examinerons point si ce principe est de vérité nécessaire [...]; nous ne l'adopterons pas non plus, avec quelque Géomètres,

- comme de vérité purement contingent [...]: nous nous contenterons d'observer, que vrai ou douteux, clair ou obscur, il est inutile à la Méchanique, & que par conséquent il doit être banni.
- 6.54 Ce que nous appelons causes, même de la première espèce, n'est tel qu'improprement; ce sont des effets desquels il résulte d'autres effets. Un corps en pousse un autre, c'est-à-dire ce corps est en mouvement, il en rencontre un autre, il doit nécessairement arriver du changement à cette occasion dans l'état des deux corps, à cause de leur impénétrabilité; l'on détermine les lois de ce changement par des principes certains, & l'on regarde en conséquence le corps choquant comme la cause du mouvement du corps choqué. Mais cette façon de parler est impropre. La cause métaphysique, la vraie cause nous est inconnue.
- 6.55 Ainsi nous entendrons en général par la force motrice le produit de la masse qui se meut par l'élément de sa vitesse, ou qui est la même chose, par le petit espace qu'elle parcourait dans un instant donné en vertu de la cause qui accélère ou retarde son Mouvement; par force accélératrice nous entendrons simplement l'élément de la vitesse.
- 6.56 Il y a deux manières d'envisager la mécanique dans ses principes. La première est de la considérer comme la théorie des forces, c'est-à-dire des causes qui impriment les mouvements. La seconde est de la considérer comme la théorie des mouvement: eux-mêmes [...] Chacune de ces deux manières d'envisager la mécanique a ses avantages et ses inconvénients. La première est presque généralement suivie, comme la plus simple; mais elle a le désavantage d'être fondée sur une notion métaphysique et obscure qui est celle des forces. Car quelle idée nette peut présenter à l'esprit en pareille matière le nom de cause? il y a tant d'espèces de causes ! Et que peut-on entendre dans le langage précis des mathématiques par une force, c'est-à-dire, par une cause double ou triple d'une autre?
- 6.57 Donc $V - V \cos X$ est la vitesse gagnée par m dans le sens de V ; Donc $m(V - W \cos X)$ est la somme des forces F qui agissent sur m estimées chacune dans le sens de V .
- 6.58 On parle souvent des forces passives; mais qu'est-ce, qu'une force passive; qu'est-ce qui la différencie d'une force active? je crois qu'on n'a pas encore répondu à cette question, & même qu'on ne ce l'est jamais faite. Or, il me semble que le caractère distinctif des forces passives, consiste en ce qu'elles ne peuvent jamais devenir sollicitantes, quel que soit ou pousse être le mouvement de la Machine, au lieu que les forces actives peuvent agir, tantôt en qualité de forces sollicitantes, & tantôt en qualité de forces résistantes. Sur ce pied, les obstacles de points fixes sont évidemment des forces passives puisqu'ils ne peuvent agir ni comme forces sollicitantes ni comme forces résistantes.
- 6.59 Un corps qu'on force à changer son état de repos ou de mouvement, résiste à l'agent qui produit le changement; & c'est cette résistance qu'on appelle force d'inertie: pour évaluer cette force, il faut donc décomposer le mouvement actuel du corps en deux, dont l'un soit celui qu'il aura l'instant d'après; car l'autre sera évidemment celui qu'il faudra détruire pour forcer le corps à son changement d'état; c'est-à-dire la résistante qu'il oppose à ce changement ou fa force

- d'inertie, d'où il est aisé de conclure, que la force d'inertie d'un corps, est la résultante de son mouvement actuel, & d'un mouvement égale a& directement opposé à celui qu'il doit avoir l'instant suivant.
- 6.60 Cette observation d'Euler est frappante; mais il est facile d'éviter ces erreurs, en distinguant ce qu'on nomme simplement inertie, de la force d'inertie. L'inertie n'est qu'une propriété qui ne peut entrer dans un calcul; mais la force d'inertie est une vraie quantité susceptible d'une appréciation exacte. L'inertie est simplement la propriété qu'a chaque corps de rester dans son état de repos ou de mouvement uniforme et rectiligne; et la force d'inertie est la quantité de mouvement que ce corps imprime à tout autre corps qui vient le tirer de cet état.
- 6.61 Nous ne manquons pas d'excellents Traités sur les Machines; les propriétés particulières à celles dont l'usage est fréquent, à celles sur-tout qu'on est convenu d'appeler simples, ont été recherchées & approfondies avec toute la sagacité possible; mais il me semble qu'on ne s'est pas encore beaucoup attaché, à développer celles de ces propriétés qui font communes à toutes les Machines, & qui, par cette raison, ne conviennent pas plus aux cordes qu'au levier, à la vis, ou à toute autre Machine soit simple soit composée.
- 6.62 Si un système de corps part d'une position donnée avec un mouvement arbitraire, mais tel qu'il eut été possible aussi de lui en faire prendre un autre tout à fait égal & directement opposé, chacun de ces mouvements sera nommé mouvement géométrique.
- 6.63 Tout mouvement, qui imprimé à un système de corps ne change rien à l'intensité de l'action qu'ils exercent ou pourraient exercer les uns sur les autres si on leur imprimait d'autres mouvements quelconques, sera nommé mouvement géométrique.
- 6.64 La théorie des *mouvements géométriques* est très-importante; c'est, comme je l'ai déjà observé ailleurs, une espèce de science intermédiaire entre la géométrie ordinaire et la mécanique. [...] Cette science n'a jamais été traitée spécialement: elle est entièrement à créer, et mérite, tant par sa beauté en elle-même que par son utilité, toute l'attention des Savants.
- 6.65 *Dans le choc de corps durs, soit qu'il y en ait de fixes, ou qu'ils soient tous mobiles (ou ce qui revient au même) soit que ce choc soit immédiat, ou qu'il se fasse par le moyen d'une machine quelconque sans ressort; la somme des forces vives avant le choc, est toujours égale à la somme des forces vives après le choc, plus la somme des forces vives qui aurait lieu, si la vitesse qui reste à chaque mobile, était égale à celle qu'il a perdus dans le choc.*
- 6.66 Lorsqu'un système quelconque de corps durs change de mouvement par degré insensibles; si pour un instant quelconque on appelle m la masse de chacun corps, V sa vitesse, p sa force motrice, R , l'angle compris entre les directions de V et p , u la vitesse qu'aurait m , si on faisait prendre au système un mouvement quelconque géométrique, r l'angle formé par u et p , y l'angle formé par V et u , dt l'élément du temps; on aura ces deux équations:

$$\sum mVpdt \cos R - \sum mVdV = 0$$

$$\sum mupdt \cos r - \sum mud(V \cos y) = 0.$$

- 6.67 La tension de ce cordon, ou la pression de cette verge, exprime également & l'effort qu'il exerce sur la Machine, & la quantité de mouvement qu'il perd lui-même par la réaction qu'il éprouve: si donc on appelle F cette force, cette quantité F sera la même chose que celle qui est exprimée par mU dans nos équations.
- 5.68 Théorème fondamental. Principe général de l'équilibre et du mouvement dans les machines. Quel que soit l'état de repos ou de mouvement où se trouve un système quelconque de forces appliquées à une machine, si l'on fait prendre têt-à-coup un mouvement quelconque géométrique, sans rien changer à ces forces, la somme des produits de chacune d'elles, par la vitesse qu'aura dans le premier instant le point ou elle est appliquée, estimée dans le sens de cette force, sera égale à zéro.
- 6.69 La loi particulière dont il s'agit id, est certainement la plus importante de toute la théorie du mouvement des Machines proprement dites: en voici quelques applications particulières, en attendant le détail où nous entrerons à son sujet, dans le scolie qui succédera au corollaire suivant, & qui terminera cet Essai.
- 6.70 Une observation générale que résulte de tout ce qui vient d'être dit, c'est que cette espèce de quantité, à laquelle j'ai donné le nom de *moment d'activité*, joue un très-grand rôle dans la théorie des Machines en mouvement: car c'est général cette quantité qu'il faut économiser le plus qu'il est possible, pour tirer d'un agent tout l'effort dont il est capable.
- 6.71 Dans une machine dont le mouvement change pour degrés insensibles, le moment d'activité consommé dans un temps donné par les forces sollicitantes, est égal au moment d'activité, exercé en même temps par les forces résistantes.

Quotations of Chapter 7

- 7.1 Le principe des forces vives étendu aux mouvements relatifs donne très-facilement une théorie exacte des roues hydrauliques comme celles de Borda ou turbines de M. Burdin. Pour les roues à aubes courbes de M. Poncelet, il montre que toutes les fois que l'eau sort de l'aube à la même distance de l'axe de rotation où elle est entrée, si l'on néglige les frottements, elle ne peut avoir acquis ou perdu que la vitesse relative due à l'action de la gravité, rapportée à la roue considérée comme immobile de sorte que, d'après la forme ordinaire des aubes, la vitesse relative de l'eau est plus grande en sortant qu'en entrant. En appliquant le même principe général aux seuls mouvements.
- 7.2 Cette équation renferme ce théorème, que le principe des forces vives a encore lieu dans le mouvement relatif aux axes mobiles, pourvu qu'aux quantités d'action $\int P \cos(P ds_r) ds_r$, calculées avec les forces données P et les arcs ds_r , décrits dans ce mouvement relatif, on ajoute d'autres quantités d'action qui

résultent des forces P_e , qui sont égales et opposées à celles qu'il faudrait appliquer à chaque point mobile pour lui faire prendre le mouvement qu'il aurait s'il était invariablement lié aux axes mobiles.

- 7.3 On arrive ainsi a cette proposition' que les expressions des forces a ajouter aux forces données pour avoir les expressions des forces dans les mouvements relatifs sont, 1⁰ celles qui sont opposées aux forces capables de produire sur chaque point le mouvement qu'il aurait s'il était lie aux plans mobiles. 2⁰ les doubles des forces centrifuges composées.
- 7.4 Ainsi l'on peut dire que, pour avoir une équation du mouvement relatif il faut ajouter aux termes ordinairement existants pour le mouvement absolu, d'abord celui qui provient des forces qui sont capables de forcer les points a rester invariablement lies aux plans mobiles, et en outre un terme qui est égal a deux fois la vitesse angulaire de rotation des axes mobiles multipliée par la somme des projections sur un plan perpendiculaire a l'axe de rotation de ces plans, de toutes les aires des paralléogrammes compris entre les quantités de mouvement effectives et les vitesses virtuelles.
- 7.5 Hamilton scheint mir dadurch seine schöne Entdeckung in ein falsches Licht gesetzt zu haben, ausserdem dass sie dadurch zu gleicher Zeit unnötig complicirt und beschränkt wird. Auch ist hier der Uebelstand, dass, da man eine Function nicht durch zwei partielle Differentialgleichungen definiren kann, denen sie gleichzeitig genügen soll, ohne zu beweisen, dass eine solche Function auch wirklich möglich ist, sein Theorem, wie er es ausgesprochen hat, nicht an sich, sondern nur mit dem Beweise, den er liefert, verständlich sein kann. Wenn dadurch, dass er gerade diese besondere Function S nimmt, die willkürlichen Constanten die Anfangswerthe der Coordinaten und der nach den Coordinaten-Axen zerlegten Geschwindigkeiten werden, so hat dies kein wesentliches Interesse, da die Einführung dieser Constanten die Form der Integralgleichungen in der Regel complicirter macht, man auch die vollständigen Integralgleichungen aus jeder andern Form in diese bringen kann. Vielleicht ist auch Hamilton dadurch, dass er immer gleichzeitig zwei partielle Differentialgleichungen vor Augen hat, verhindert worden, die allgemeinen Vorschriften, welche Lagrange in den Vorlesungen über die Functionenrechnung für die Integration einer nicht linearen partiellen Differentialgleichung erster Ordnung zwischen drei Variabeln giebt, auf sein Theorem anzuwenden, wodurch ihm, wie ich in einer andern Abhandlung zeigen werde, Resultate von grösster Wichtigkeit für die Mechanik entgangen sind. Ich bemerke noch, dass die Forderung, dass die Function S , nachdem sie der ersten partiellen Differentialgleichung genügt, noch der zweiten genügen solle, auch noch dadurch eine Beschränkung herbeiführt, dass sie den Fall ausschliesst, wo die Kräftefunction U die Zeit t auch explicite enthält, weil für diesen die zweite partielle Differentialgleichung nicht mehr gültig ist.
- 7.6 In der auch für den Fall, wo keine Kräftefunction existiert, geltenden Gelstat

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial T}{\partial p_i}, \quad \frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial T}{\partial q_i} + Q_i$$

wo

$$Q_i = \sum_k \left(X_k \frac{\partial x_k}{\partial q_i} + Y_k \frac{\partial y_k}{\partial q_i} + Z_k \frac{\partial z_k}{\partial q_i} \right).$$

- 7.7 Terminons ces observations par une réflexion qui parait mériter quelque attention; c'est que nous croyons qu'il serait à désirer, pour la perfection de la Mécanique et des Arts, que l'on réunit dans un corps d'ouvrage, une description, avec figures des meilleures machines exécutées en Europe. L'on joindrait à cette description des expériences faites sur les lieux, dans le genre de celles que nous venons de rapporter pour les moulins à vent, mais plus nombreuses et plus circonstanciées; l'on comparerait, au moyen de ces expériences, la quantité d'effet que chaque machine produit, avec la quantité d'action qu'elle consomme, ce qui est la seule balance pour en déterminer le degré de perfection. L'on aurait, par ce moyen, une mesure exacte pour apprécier par les faits toutes ces prétendues inventions dont les auteurs, sans la moindre connaissance des principes de Mécanique" fatiguent les Académies et l'administration, pour obtenir le privilège de ruiner quelques particuliers.
- 7.8 On appelle machine tout instrument destiné à transmettre l'action d'une force déterminée, à un point qui ne se trouve pas sur sa direction, de manière que cette force puisse mouvoir un corps auquel elle n'est pas immédiatement appliquée, et le mouvoir suivant une direction différente de la sienne propre.
122. On ne peut en général changer la direction d'une force qu'en décomposant cette force en deux autres, dont l'une soit dirigée vers un point fixe qui la détruit par sa résistance, et dont l'autre agisse suivant la nouvelle direction: cette dernière force qui est la seule qui puisse produire quelque effet, est toujours une composante de la première; et, suivant les circonstances, elle peut être ou plus petite ou plus grande qu'elle. En changeant de cette manière les directions et les grandeurs des forces, on peut donc, à l'aide d'une machine, et des points d'appui qu'elle présente, mettre en équilibre deux forces inégales et qui ne sont pas directement opposées.
- 7.9 Je ne dois pas omettre de parler dans cette Notice d'un livre publié en 1803 par M. Carnot, sous le titre de *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, 1 vol. 8^o. Le dernier chapitre qui renferme en quelques pages toute la théorie des machines et des forces mouvantes qui leur sont appliquées, est l'ouvrage du savant le plus profond et de l'ingénieur le plus expérimenté.
- 7.10 La perte ou le gain de force vive éprouvé, entre deux instants quelconques, par un corps dont le mouvement varie, est le double de la quantité de travail développée dans cet intervalle, par l'inertie du corps ou par la force motrice égale et directement contraire.
- 7.11 Traçons, sur un plan ou tableau, une courbe $O'a'b'c'$... dont les abscisses Oa, Ob, Oc, \dots représentent les chemins successivement décrits par le point d'action de la résistance, et dont les ordonnées OO', ad', bb', \dots représentent, d'après une échelle convenable, les résistances ou efforts correspondants

censés mesurés en kilogrammes. Supposons que $Oa, abbc, \dots$ soient les espaces égaux et très-petits décrits à chaque instant. Les travaux partiels ayant pour mesure les produits de ces petits espaces par les résistances moyennes correspondantes, censées constantes pour chacun d'eux, c'est-à-dire les produits $\frac{1}{2}(OO' + aa') \cdot Oa, \frac{1}{2}(aa' + bb') \cdot ab, \frac{1}{2}(bb' + cc') \cdot bc, \dots$ ces travaux seront représentés par les aires des trapèzes $OO'd'a, aa'b'b, bb'c'c, \dots$, et le travail total le sera par la surface de tous ces petits trapèzes réunis.

- 7.12 Néanmoins la chaleur qui est comptée au nombre des forces mécaniques, et l'électricité qui est aussi une force qui se développe, comme la chaleur, par la percussion, par le frottement ou même par le simple contact des corps différents.
- 7.13 Quelque durs que soient les deux mobiles, ils sont toujours plus ou moins compressibles; à raison de la différence de leurs vitesses v et v' , ils vont donc se comprimer, eu s'appuyant l'un contre l'autre; et, pendant cette compression, la vitesse de l'un des deux corps, de m . par exemple, diminuera par degrés infiniment petits, et celle de m /augmentera de même, jusqu'à ce que ces deux vitesses soient devenues égales. Or, à partir de cet instant, il y aura deux cas distincts à considérer.

1- Si les deux sphères sont entièrement dénuées d'élasticité, elles cesseront d'agir l'une sur l'autre à l'instant où leurs vitesses se seront ainsi nivelées, et continueront de se mouvoir avec une vitesse commune, en restant juxtaposées et conservant les formes que la compression leur aura données.

- 7.14 Lagrange est allé aussi loin qu'on puisse le concevoir, lorsqu'il a remplacé les liens physiques des corps par des équations entre les coordonnées de leurs différents points c'est là ce qui constitue la *Mécanique analytique*; mais à côté de cette admirable conception on pourrait maintenant élever la *Mécanique physique*, dont le principe unique serait de ramener tout aux actions moléculaires, qui transmettent d'un point à un autre l'action des forces données, et sont l'intermédiaire de leur équilibre. De cette manière, on n'aurait plus d'hypothèses spéciales à faire lorsqu'on voudra appliquer les règles générales de la mécanique à des questions particulières.

- 7.15 Il en resultera, à un instant quelconque, $\sum mv^2 - \sum mk^2 = 2 \varphi(x, y, z, x', \text{etc.}) - 2 \varphi_2(a, b, c, a', \text{etc.})$. Les quantités mv^2 et mk^2 sont les sommes des forces vives de tous les points du système à cet instant et à l'origine du mouvement; cette équation signifie donc que la différence de ces deux sommes ne dépend que des coordonnées des mobiles, à ces deux époques, et nullement de leurs liaisons ni des chemins qu'ils ont suivis pour laisser de leurs positions initiales à celles qu'ils occupent au bout du temps t . C'est en cela que consiste la loi du mouvement, à la quelle on a donné le nom de *principe des forces vives*.

[...]

Qui si tous les points du système occupent les mêmes positions à deux époques différentes, les sommes des leurs forces vives seront aussi les mêmes à ces deux époques.

- 7.16 Qu'on emploie enfin quelles machines on voudra, même à ressort, pourvu que dans ce cas, on remette à la fin les ressorts au même état de tension où on les a pris au premier instant; le moment d'activité qu'auront à consommer, pour

- produire cet effet, les agent extérieurs employés à mouvoir ce système sera toujours le même, en supposant que le système soit en repos au premier instant du mouvement, et au dernier.
- 7.17 Dans ce qui nous allons dire, le mot de force s'appliquera doc seulement à ce qui est analogues aux poids, c'est-à-dire à ce qu'on appelle, dans plusieurs cas, pression, tension, ou traction. En ce sens, une force ne peut jamais faire changer sensiblement la direction et la grandeur d'une vitesse sans le faire passer par tous les états intermédiaires.
- 7.18 Ces diverses expressions assez vagues ne paraissent pas propre à se répandre facilement. Nous proposerons la dénomination de *travail dynamique*, ou simplement *travail*, pour la quantité [...]. Ce nome est donc très propre à designer la réunion de ces deux éléments, chemin et force.
- 7.19 J'ai employé dans cet ouvrage quelques dénominations nouvelles: je désigne par le nom de *travail* la quantité qu'on appelle assez communément *puissance mécanique*, *quantité d'action* ou *effet dynamique*, et je propose le nom de *dynamode* pour l'unité de cette quantité. Je me suis permis encore une légère innovation en appelant force vive le produit du poids par la hauteur due à la vitesse. Cette force vive n'est que la moitié da produit qu'on a désigné jusqu'à présent par ce nom, c'est-à-dire de la masse par le carré de la vitesse.
- 7.20 Ce mot de travail vient si naturellement dans le sens où je l'emploie, que, sans qu'il ait été ni proposé, ni reconnu comme expression technique, cependant il a été employé accidentellement par M. Navier, dans ses notes sur *Bélicor*, et par M. de Prony dans son *Mémoire. sur la expériences de la machine du Gros-Caillou*.
- 7.21 Dorénavant nous nous servirons de la dénomination de machine pour designer les corps mobiles auxquels nous appliquerons l'équation des forces vives: en ce sens. un seul corps qui se meut serait une machine tout comme un ensemble plus compliqué. Dans chaque cas particulier, une fois qu'on saura bien de quels corps en mouvement se compose la machine dont on veut s'occuper, il suffira pour y appliquer les principes précédemment établis, de bien connaître quelles sont les masses qui doivent entrer dans le calcul des forces vives, et quelles sont les forces mouvantes et résistants qui doivent entrer dans le calcul de la quantité de travail.
- 7.22 L'équilibre ayant lieu sous l'action des forces extérieures P , chaque molécule sera en équilibre, et l'on aura, en tenant compte de toutes le actions moléculaires R ,

$$\sum R\delta r + \sum P\delta p = 0.$$

Si maintenant on prend un mouvement virtuel qui laisse à chaque corps son invariabilité de forme ou sa solidité, et que néanmoins dans ce mouvement on fasse glisser et rouler les corps les uns sur les autres avec toute la latitude dans ces mouvements que permet la construction même de la machine; il y aura uno grande partie des éléments de travail virtuels $R\delta r$ qui s'en iront ce seront tous ceux qui sont dus des actions entre des molécules qui n'ont pas

changé de distance pendant le mouvement virtuel, c'est-à-dire entre celles qui appartiennent à un même corps. Il ne restera donc dans l'équation ci-dessus que ceux des éléments de travail virtuel $\sum P\delta r$ qui proviennent des actions entre les molécules de deux corps contigus, lorsque dans le mouvement virtuel ces corps ne se mouvront pas ensemble comme un seul système, mais qu'ils glisseront ou rouleront l'un sur l'autre. Les actions R qui resteront ainsi ne seront dues qu'à des molécules qui seront à une distance de la surface de contact qui sera moindre que l'étendue des actions moléculaires, ou en d'autres termes, que le rayon de la sphère d'activité.

- 7.23 On peut comparer la transmission du travail par les machines à l'écoulement d'un fluide qui se répandrait dans les corps en passant de l'un à l'autre par les points de contact; se diviserait en plusieurs courants, dans le cas où un seul corps en pousse plusieurs; on formerait, au contraire, la réunion de plusieurs courants, dans le cas où plusieurs corps en poussent un seul. Ce fluide pourrait en outre s'accumuler dans certains corps et y rester en réserve jusqu'à ce que de nouveaux contacts, ou des contacts avec écoulement plus considérable, en fissent sortir une plus grande quantité: ce travail en réserve, que nous assimilons ici à un fluide, est ce que nous avons appelé la *force vive*. En suivant toujours cette comparaison, une machine, dans le sens ordinaire du mot, est un ensemble de corps en mouvement disposés de manière à former une espèce de canal par où le travail prend son cours pour se transmettre, le plus intégralement possible, sur les points où l'on en a besoin. Il se perd peu à peu par les frottements et par les déformations des corps, ou bien il va se répandre dans la terre, où, en s'étendant indéfiniment, il devient bientôt insensible.
- 7.24 Nous sommes conduits ainsi à reconnaître que le principe des vitesses virtuelles dans l'équilibre d'une machine composée de plusieurs corps solides ne peut avoir lieu qu'en considérant d'abord les frottements de glissement, lorsque les déplacements virtuels peuvent faire lisser les corps les uns sur les autres, et en outre ceux de roulement lorsque les corps ne peuvent prendre de mouvement virtuel sans se déformer près des points de contact. Les frottements étant reconnus par expérience toujours capables de maintenir l'équilibre dans de certaines limites d'inégalité entre la somme des éléments de travail positif et la somme des éléments de travail négatif, en prenant ici pour négatifs les éléments appartenant à la somme la plus petite; il s'ensuit que la somme des éléments auxquels us donnent lieu à précisément la valeur propre à rendre nulle la somme totale et se trouve égale à la petite différence qui existe entre les sommes des éléments positifs et des éléments négatifs.
- 7.25 On regarde un corps solide élastique comme un assemblage de molécules matérielles placées à des distances extrêmement petites. Ces molécules exercent les unes sur les autres deux actions opposées, savoir, une force propre d'attraction, et une force de répulsion due au principe de la chaleur. Entre une molécule M , et l'une quelconque M' des molécules voisines, il existe une action P , qui est la différence de ces deux forces. Dans l'état naturel du corps, toutes les actions P sont nulles, ou se détruisent réciproquement, puisque la molécule M est en repos. Quand la figure du corps a été changée, l'action P a pris une

- valeur différente Π , et il y a équilibre entre toutes les forces Π et les forces appliquées au corps, par lesquelles le changement de figure a été produit.
- 7.26 Soit M un point situé dans l'intérieur du corps, à une distance sensible de la surface. Par ce point menons un plan qui partage le corps en deux parties, et que nous supposerons horizontal [...]. Appelons A la partie supérieure et A' la partie inférieure, dans laquelle nous comprendrons les points matériels appartenant au plan même. Du point M comme centre, décrivons une sphère qui comprenne un très-grand nombre de molécules, mais dont le rayon soit cependant insensible par rapport au rayon d'activité des forces moléculaires. Soit ω l'aire de sa section horizontale; sur cette section élevons dans A un cylindre vertical, dont la hauteur soit au moins égale au rayon d'activité des molécules; appelons B ce cylindre: l'action des molécules de A' sur celles de B , divisée par ω , sera la *pression* exercée par A' sur A , rapportée à l'unité de surface et relative au point M .
- 7.27 L'élasticité des corps solides et même des fluides, [...], toutes leurs propriétés mécaniques prouvent que les molécules ou les dernières particules qui les composent exercent les unes sur les autres des actions répulsives indéfiniment croissantes pour les distances mutuelles les moindres, et devenant attractives pour des distances considérables, mais relativement insensibles quand ces distances, dont elles sont ainsi fonctions, acquièrent une grandeur perceptible.
- 7.28 Je me ne refuse pas pourtant à reconnaître que les molécules intégrantes dont les arrangements divers composent la texture des solides, et dont les petits changements de distance produisant les déformations perceptibles appelées ∂ , g ne sont pas les *atomes* constituants de la matière, mais en sont des groupes inconnus. Je reconnais en conséquence, tout en pensant que les actions entre atomes sont régies par la loi des intensités fonction des seules distances ou elles s'exercent, qu'il n'est pas bien certain que les actions *résultantes* ou entre *molécules*, doivent suivre tout à fait la même loi vis-à-vis des distances de leurs centres de gravité. On peut considérer aussi que les groupes, en changeant de distances, peuvent changer d'orientation.
- 7.29 Les trente-six coefficients [...] se réduisent à deux [...] et on peut dire même à un seul [...] en vertu de ce que les trente-six coefficients sont réductibles à quinze.
- 7.30 Mais les expériences [...] et la simple considération de la manière dont s'opèrent le refroidissement et la solidification des corps, prouvent que l'isotropie est fort rare [...]. Aussi, plutôt que de prendre, au lieu des formules [...] à un seul coefficient [...], les formules [...] à deux coefficients [...], qui ne sont composées comme celles-ci que pour des corps parfaitement isotropes, il conviendra de se servir le plus qu'on pourra des formules [...] relatives au cas plus général d'une élasticité inégale dans deux ou trois sens.
- 7.31 Si dans un corps solide élastique ou non élastique on vient à rendre rigide et invariable un petit élément du volume terminé par des faces quelconques, ce petit élément éprouvera sur ses différentes faces, et en chaque point de chacune d'elles, une pression ou tension déterminée. Cette pression ou tension sera semblable à la pression qu'un fluide exerce contre un élément de l'enveloppe

- d'un corps solide, avec cette seule différence, que la pression exercée par un fluide en repos contre la surface d'un corps solide, est dirigée perpendiculairement à cette surface de dehors en dedans, et indépendante en chaque point de l'inclinaison de la surface par rapport aux plans coordonnés, tandis que la pression ou tension exercée en un point donné d'un corps solide contre un très petit élément de surface passant par ce point, peut être dirigée perpendiculairement ou obliquement à cette surface, tantôt de dehors en dedans, s'il y a condensation, tantôt de dedans en dehors, s'il y a dilatation, et peut prendre de l'inclinaison de la surface par rapport aux plans dont il s'agit.
- 7.32 Si la prudence scientifique prescrit de ne pas se fier à toute hypothèse elle n'ordonne pas pas moins de tenir pour fortement suspect ce qui est manifestement contraire à une grande synthèse reliant admirablement la généralité des faits [...]. Aussi repoussons-nous toute formule théorique en contradiction formelle avec la loi des actions fonctions continues des distances des points matériels et dirigées suivant leurs lignes de jonction deux à deux. Si, en recourant à une telle formule, on explique plus facilement certains faits, nous la regarderons toujours comme un *expédient* trop commode.
- 7.33 The molecules of crystallized bodies will be from now on polyhedra whose vertices, distributed in any way around the center of gravity, will be the centers, or poles, of the forces emanating from the molecule.
- 7.34 Quand une verge rigide chargée de poids est soutenue sur un nombre de points d'appui plus grand que 2, les efforts que chacun de ces points d'appui doit supporter sont indéterminés entre certaines limites. Ces limites peuvent toujours être fixées par les principes de la statique. Mais, si l'on suppose la verge élastique, l'indétermination cesse entièrement. On considérera seulement ici une des questions de ce genre le plus simples qui puissent être proposées.
- 7.35 Cette méthode consiste à chercher les déplacements des points des pièces en laissant sous forme indéterminée les grandeurs, les bras de levier et les directions des forces dont nous parlons. Une fois les déplacements exprimés en fonctions de ces quantités cherchées, on pose les conditions définies qu'ils doivent remplir aux points d'appui ou d'encastrement, ou aux jonctions des diverses pièces, ou aux points de raccordement des diverses parties dans lesquelles il faut diviser une même pièce parce que les déplacements y sont exprimés par des équations différentes. De cette manière, on arrive à avoir autant d'équations que d'inconnues, car il n'y a, dans les questions de mécanique physique, évidemment aucune indétermination.
- 7.36 Art. V. Si l'on suppose donc maintenant B, C, b, c constant & que l'on diminue, ou que l'on augmente p autant qu'il est possible; c' est à dire, qu'on le fasse passer par tous les changements de grandeur dont il est susceptible, afin de trouver sa valeur qui fasse produire à la Machine son plus grand effet, on aura p variable dans le valeur générale de l'effet de l'article précédent, & prenant la différentielle de cette valeur, savoir, $\left(\sqrt{P} - \frac{2}{3}\sqrt{p} \times \frac{Vbc}{BC\sqrt{P}} dp \right)$ afin de l'égalé à zéro

- (selon la méthode des Infiniment petits) il reulte l'égalité ($\sqrt{P} = \frac{3}{2}\sqrt{p}$), d'où l'on tire ($\frac{2}{3}\sqrt{P} = \sqrt{p}$), & enfin ($\frac{4}{9}P = p$) désirée.
- 7.37 Ce que ma solution vient de me donner, est contraire à ce qu'ont dit jusqu'à présent les Géomètres qui ont travaillé sur cette matière en effet, tous ont trouvé, que pour faire produire à une roue à palettes le plus grand effet possible, il ne fallait laisser prendre aux palettes que le tiers de la vitesse du fluide qui les frappait, & voici sur quoi ce résultat était fondé. On ne considérait dans cette roue qu'une seule palette AB, contre laquelle on cherchait la force du choc du fluide; on trouvait, en appelant B la vitesse du fluide & V celle des palettes, que le choc était proportionnel à $(B - V)$ & comme l'effet de la roue est nécessairement proportionnel à la vitesse des palettes multipliée par le choc du fluide, on avait l'effet de la roue représenté par $V(B - v)^2$, d'où on tirait pour le *maximum* $V = 1/3B$ mais il fallait observer que dans le mouvement dont il s'agit, l'action de l'eau ne s'exerce pas contre une palette isolée, mais contre plusieurs palettes à la fois, & que ces palettes fermant tout le passage du petit canal & ôtant au fluide sa vitesse qu'il a de plus qu'elle, la quantité du mouvement perdu par ce fluide, & par conséquent le choc qu'éprouvent les palettes, n'est plus proportionnel au carré de la différence de ces vitesses des fluides & des palettes, mais seulement à la différence de ces vitesses d'où il suit que l'effet est représenté par $V(B - V)$ & non pas par $V(B - v)^2$: or égalant $V(B - V)$ à un *maximum*, on trouve $V = 1/3B$.
- 7.38 Je vis bientôt que je pouvais tirer un bien meilleur parti du poids de l'eau, en la considérant comme des poids qui en descendant, en enlèveraient d'autres: mais quelle vitesse falloir il faire prendre à la roue.
- 7.39 L'idée de substituer des palettes courbes aux palettes droites de l'ancien système paraît si naturelle et simple, qu'il y a lieu de croire qu'elle sera venue à plus d'une personne; aussi n'ai-je pas la prétention de lui attribuer un grand mérite; mais, comme les idées les plus simples sont fort souvent celles qui rencontrent le plus de difficultés à être admises, je n'ai pas voulu m'en tenir à des aperçus purement théoriques.
- 7.40 Wir haben oben gesehen, dass die Naturerscheinungen auf unveränderliche letzte Ursachen zurückgeführt werden sollen diese Forderung gestaltet sich nun so, dass als letzte Ursachen der Zeit nach unveränderliche Kräfte gefunden werden sollen. Materien mit unveränderlichen Kräften (unversiegbaren Qualitäten) haben wir in der Wissenschaft (chemische) Elemente genannt. Denken wir uns aber das Weltall zerlegten Elemente mit unveränderlichen Qualitäten, so sind die einzigen noch möglichen Änderungen in einem solchen System räumliche d. h. Bewegungen, und die äusseren Verhältnisse, durch welche die Wirkung der Kräfte modifiziert wird, können nur noch räumliche sein, also die Kräfte nur Bewegungskräfte, abhängig in ihrer Wirkung nur von den räumlichen Verhältnissen.
- 7.41 Wir haben hier links wieder die Summe der verbrauchten Spannkkräfte, rechts die der lebendigen Kräfte des ganzen Systems, und wir können das Gesetz jetzt so aussprechen: In allen Fällen der Bewegung freier materieller Punkte unter dem Einfluss ihrer anziehenden oder abstossenden Kräfte, deren

- Intensitäten nur von der Entfernung abhängig sind, ist der Verlust an Quantität der Spannkraft stets gleich dem Gewinn an lebendiger Kraft, und der Gewinn der ersteren dem Verlust der letzteren. Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkräfte Constant. In dieser allgemeinsten Form können wir unser Gesetz als das Prinzip von der Erhaltung der Kraft bezeichnen.
- 7.42 Je fis voir à M. Colbert une machine, que j'avais fait construire dans cette même intention & qui fut enregistrée dans notre Académie, l'effet en était; qu'une petite quantité de poudre, comme il en faut, pour remplir un dé à coudre, était capable d'élever quelques seize cens livres, à la hauteur de cinq pieds, & cela sans cette impétuosité ordinaire, mais d'une force tempérée & égale; quatre a cinq laquais, que M. Colbert fit tirer à la corde attachée à cette machine, furent élevez fort facilement en l'air; toutefois il se rencontre quelque difficulté, à renouveler continuellement cette force.
- 7.43 1° Elle est moins incomplète; c'est-à-dire que les principes de la conservation de l'énergie et de Hamilton nous apprennent plus que les principes fondamentaux de la théorie classique et excluent certains mouvements que la nature ne réalise pas et qui seraient compatibles avec la théorie classique; 2° Elle nous dispense de l'hypothèse des atomes, qu'il était presque impossible d'éviter avec la théorie classique.
- 7.44 La réduction de toutes les propriétés physiques à des combinaisons de figures et de mouvements ou, selon la dénomination en usage, l'explication mécanique de l'Univers, semble aujourd'hui condamnée. Elle n'est pas condamnée par des raisons à priori, métaphysiques ou mathématiques. Elle est condamnée parce qu'elle n'a été jusqu'ici qu'un projet, qu'un rêve, et non une réalité. Malgré d'immenses efforts, les physiciens ne sont jamais parvenus à concevoir un agencement de figures géométriques et de mouvements locaux qui, traité selon les règles de la Mécanique rationnelle, donne une représentation satisfaisante d'un ensemble quelque peu étendu de lois physiques. La tentative qui se propose de réduire toute la Physique à la Mécanique rationnelle, tentative qui fut toujours vaine dans le passé, est-elle destinée à réussir un jour? Un prophète seul pourrait répondre affirmativement ou négativement à cette question. Sans préjuger le sens de cette réponse, il paraît plus sage de renoncer, au moins provisoirement, à ces efforts, stériles jusqu'ici, vers l'explication mécanique de l'Univers. Nous allons donc tenter de formuler le corps des lois générales auxquelles doivent obéir toutes les propriétés physiques, sans supposer à priori que ces propriétés soient toutes réductibles à la figure géométrique et au mouvement local. Le corps de ces lois générales ne se réduira plus, dès lors, à la Mécanique rationnelle.
- 7.45 Le code des lois générales de la Physique est connu aujourd'hui sous deux noms le nom de Thermodynamique et le nom d'Énergétique. Le nom de Thermodynamique se rattache étroitement à l'histoire de cette science; ses deux principes les plus essentiels, le principe de Carnot et le principe de la conservation de l'énergie, ont été découverts en étudiant la puissance motrice des machines à feu. Ce nom se justifie encore par ce fait que les deux notions de travail et de quantité de chaleur sont constamment en jeu dans les raisonnements par

lesquels cette doctrine se développe. Le nom d'Énergétique est du à Rankine; l'idée d'énergie étant la première que cette doctrine ait à définir, celle à laquelle se rattachent la plupart des autres notions dont elle fait usage, ce nom ne paraît pas moins bien choisi que le nom de Thermodynamique.

- 7.46 Entwicklungsgeschichte und Inhalt eines Begriffes will ich schludern, eines Begriffes, der so klein angefangen hat, wie wir uns den ersten Keim auf der soeben erst erkalteten und zum Träger des Lebens bereit gewordenen Erde vor stellen. Und ebenso wie Jener erste Lebenskeim hat er sich entfaltet und entwickelt er hat immer mannigfaltigere Gestalten angenommen und sich immer verschiedenartigeren Verhältnissen anzupassen gewusst. Eine Wüste nach der anderen hat er erobert und mit dem Leben seiner Kinder überkleidet. So gewaltig hat sich seine Lebenskraft und seine Anpassungsfähigkeit betätigt, dass wir uns gegenwärtig kein Gebiet so dürr, keine Höhe so Luft verdünnt vorstellen können dass nicht entsprechend angepasste Lebensformen dieses ursprünglichen Keimes dort gedeihen könnten Wir erwarten nicht: anderes, als dass et allmählich das ganze Bereich menschlichen Wissens unter seine Herrschaft bringen wird. Zwar Ward es keine absolute Herrschaft solcher Art sein dass kein anderer Begriff neben oder über ihm seinen Platz fände Deren gibt es genug, die abstrakter und daher in gewissem Sinne höher sind als er. Aber es ist zurzeit keiner bekannt, in dem sich gleichzeitig Allgemeinheit und Besonderheit, umfassende Geltung und Bestimmtheit der Aussage in solchem Maße vereinigten, wie in ihm. So müssen wir diesen Begriff als die reichste und lebensvollste Inkarnation unseres Wissens bezeichnen, die wir bisher gefunden haben. Wir können sagen, dass wir kein Geschehnis in der Welt kennen, das sich nicht in Zusammenhang mit diesem Begriffe bringen ließe, und dass von den vielen anderen Begriffen, wie Zahl, Zeit, In Raum, Größe usw., die wir zur gedanklichen Erfassung der Welt ausgebildet haben, unser Begriff das Meiste und Bestimmteste über den Inhalt dieser unserer Welt ausspricht und in Zusammenhang bringt.

Dieser Begriff ist die Energie

- 7.47 Wir wissen, dass es sich hierbei um einen alten Auswegvor der neuen Begriffsbahn handelt, auf den schon Leibniz hingewiesen hatte, und wir haben uns bereits überzeugt, dass auf solchen Auswegen nur ein Festfahren, nicht aber ein wirklicher Fortschritt möglich ist. So finden wir die heutigen Naturforscher bereits so weit fortgeschritten, dass sie nach über sechzig Jahren glücklich auf dem Standpunkte Mayers angelangt sind. Will sich heute ein Physiker oder Chemiker recht fortschrittlich gebärden, so erklärt er die Materie und die Energie für zwei ähnliche oder parallele Wesenheiten und definiert die Naturwissenschaft als die Lehre von der Umwandlung der beiden unzerstörlichen Dinge, der Materie und der Energie, meist ohne zu wissen, dass er damit nur die Auffassung Mayers wiederholt.
- 7.48 Für unsere allgemeine Untersuchung ist das Wesentlichste, was Mayer geleistet hat, die substantielle Auffassung dessen, was er Kraft nennt, d. h. der Energie. Diese ist ihm durchaus Das mechanische Wärmeäquivalent. eine Wirklichkeit, ein Wesen bestimmter und eigener Art; gerade die Unzerstörbarkeit und

Unerschaffbarkeit kennzeichnet seine Wirklichkeit. Um diese so leindringlich zu machen, wie er kann, stellt er die Energie der Materie an die Seite: einerseits gibt es die unzerstörlichen ponderablen Objekte, die Materie, und andererseits die unzerstörlichen imponderablen Objekte, die Energien.

- 7.49 Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen von niederer Intensität überzugehen. Sie heißt ausgelöst, wenn sie diesem Streben folgen kann.
- 7.50 Aujourd'hui, semble-t-il, le spectacle que nous offrent; les sciences physico-chimiques a complètement change. Une extreme diversité a remplacé l'unité générale, et non plus seulement dans les détails, mais dans les idées directrices et fondamentales.

[...]

Les critiques du mécanisme traditionnel qui furent formulées pendant toute la seconde moitié du XIX siècle, infirmèrent cette proposition de la réalité ontologique du mécanisme. Sur ces critiques s'établit une conception philosophique de la physique qui devint presque traditionnelle dans la philosophie de la fin du XIX siècle. La science ne fut plus qu'une formule symbolique, un moyen de repérage [...]. Une science, pur artifice pour agir sur la nature, simple technique utilitaire, n'a pas le droit, à moins de défigurer le sens des mots, de s'appeler science.

[...]

L'échec du mécanisme traditionnel [...] entraîna cette proposition: la science, elle aussi, a échoué.

- 7.51 Ainsi donc, quand un système se transforme en présence de corps étrangers, nous considérons ces corps étrangers comme contribuant à cette transformation soit en la causant, soit en l'aidant, soit en l'entravant; c'est cette contribution que nous nommons *l'oeuvre accomplie en une transformation d'un système par les corps étrangers à ce système.*

References

Sources

1. Alberti LB (1450) *Ludi rerum mathematicarum*. In: Leon Battista Alberti (1973) *Opere volgari* (3 vols). Grayson C (ed) vol 3. Laterza, Bari, pp 131–173
2. Albertus de Saxonia (1492) *Quaestiones subtilissime in libros de cielo et mundo*. Locatelli, Venice
3. Albertus Magnus (1890–1899) *Physicorum libr. VIII*. In: Borgnet A (ed) *Albertui Magni Opera omnia* (38 vols). Ludovicum Vives, Paris
4. Algarotti F (1737) *Il newtonianesimo per le dame ovvero dialoghi sopra la luce e i colori*. Milan
5. Ampère AM (1834) *Essai sur la philosophie des sciences*. Bachelier, Paris
6. Andrade J (1898) *Leçons de mécanique physique*. Société d'Éditions Scientifiques, Paris
7. Aquino T (1952) *In libros Aristotelis De caelo et mundo*. In: Spiazzi MR (ed) *Aristotelis libros De caelo et mundo, De generatione et corruptione, Metereologicorum, exposito*. Marietti, Turin-Rome
8. Archimedes (1558) *Archimedis Opera nonnulla*. In: Commandino F (ed). Manutium, Venice
9. Archimedes (1565) *Archimedis De iis quae vehuntur in aqua libri duo*. In: Commandino F (ed) *Ex Officina Benacii*, Bologna
10. Archimedes (1880–1881) *Archimedis Opera omnia cum commentariis Eutocii* (3 vols). In: Heiberg JL (ed). Teubneri BG, Leipzig
11. Archimedes (2002) *On the equilibrium of planes*. In: Heath TL (ed) *The works of Archimedes*. Dover, New York, pp 189–220
12. Aristotle (1955) *Mechanical problems*. In: Hett WS (ed) *Aristotle minor works*. William Heinemann, Cambridge
13. Aristotle. *De caelo* (trans: Stocks JL). The internet classics archive
14. Aristotle. *Physica* (trans: Hardie RP, Gaye RK). The internet classics archive
15. Aristotle. *Metaphysica* (trans: Ross WD). The internet classics archive
16. Aristotle. *Analytica posteriora* (trans: Mure GRG, Gaye RK). The internet classics archive
17. Aristotle. *De anima* (trans: Smith JA). The internet classics archive
18. Aristotle (1525) *Conversio mechanicarum quaestionum Aristotelis cum figuris et annotationibus quibusdam*. In: Leonico Tomeo N (1525) *Opuscula nuper in lucem aedita quorum nomina proxima habentur pagella*. Vitali B, Venice
19. Aristotle (1990) *Physica*. *Translatio Vetus*. In: Bossier F, Brams J (eds) *Translatio Vaticana Mansion A* (ed) (2 vols). Brill, Leiden-New York
20. Aristotele (2000) *Problemi meccanici*. In: Bottecchia Dehò ME (ed) *Rubbettino*, Catanzaro

21. Bacon R (1900) *The Opus majus*. In: Bridges JH (ed). Williams and Norgate, London
22. Bacon R (1928) *The Opus majus* (trans: Burk RB). University of Pennsylvania Press, Philadelphia
23. Bacon R (1935) *Questiones supra libros octo physicorum Aristotelis*. In: Steele R (ed) Delorme FM. Humphredum Milford, London
24. Bacon R (1980) *De multiplicatione specierum*. In: Lindberg DC (ed) (1980) *Roger Bacon's philosophy of nature*. Clarendon Press, Oxford, pp 407–552
25. Baldi B (1621) *Bernardini Baldi Urbinatis Guastallae abbatis in Mechanica Aristotelis problemata exercitationes*. Albini I, Mainz
26. Baliani GB (1638) *De motu naturali gravium solidorum*. Farroni M et al, Genoa
27. Baliani GB (1646) *De motu naturali gravium solidorum et liquidorum* (1646). Farroni M et al, Genoa
28. Baliani GB (1666) *Di Gio. Battista Baliano opere diverse*. Calenzani PG, Genoa
29. Baliani GB (1792) *Opere diverse di Gio. Battista Baliani patrizio genovese; aggiuntavi nell'avisò a chi legge una compendiosa notizia della di lui vita*. Franchelli G, Genoa
30. Baliani GB (1998) *De motu naturali gravium solidorum et liquidorum*. Baroncelli G (ed) Giunti, Florence
31. Belidor BF (1782) *Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différens besoins de la vie* (1737–1739) (4 vols). Cellot L, Paris
32. Belidor BF (1819) *Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever, et de ménager les faux pour les différens besoins de la vie* (4 vols). Navier CL (ed). Didot F, Paris
33. Benedetti GB (1553) *Resolutio omnium Euclidis problematum aliorumque ad hoc necessario inventorum una tantummodo circini data apertura*. Bartholomaeum Caesatum, Venice
34. Benedetti GB (1554) *Demonstratio proportionum motuum localium*. Bartholomaeum Caesatum, Venice. In: Maccagni C (eds) (1967) *Le speculazioni giovanili "de motu" di Giovanni Battista Benedetti*. Domus Galileiana, Pisa, pp 65–84
35. Benedetti GB (1585) *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*. Haerodem Nicolai-Bevilaqua, Turin
36. Berkeley G (1721) *De motu*. In: Berkeley G (1820) *The works of George Berkeley* (3 vols), vol 2. Priestley R, London, pp 373–400
37. Bernoulli D (1738) *Theoremata de oscillationibus corporum filo flexili connexorum et catenae verticaliter suspense* (1732–1733). *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* 6:108–123
38. Bernoulli D (1738) *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*. Dulsseker JR, Strasbourg
39. Bernoulli D (1747) *Commentationes de immutatione et extensione principii conservationis virium vivarum, quae pro motu corporum coelestium requiruntur* (1738). *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* 10:116–124
40. Bernoulli D (1750) *Remarques sur le principe de la conservation des forces vives pris dans un sens général* (1748). *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin* 4:356–364
41. Bernoulli D (1769) *Recherche sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux* (1753). *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie Royale des Sciences, depuis leur fondation* 7:1–99
42. Bernoulli D (1740) *Traité sur le flux et reflux de la mer*. In: Newton I (1822) *Philosophiae naturalis principia mathematica* (4 vols). Le Seur T, Jacquier F (eds) Duncan A, Glasgow J, vol 3, pp 101–205
43. Bernoulli J (1720) *Démonstration générale du centre du balancement a toutes sortes de figure tirée de la nature du levier* (1703). *Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris*, pp 78–84
44. Bernoulli J (1710) *Extrait de la réponse de M. Bernoulli à M. Herman, datée de Basle le 7 Octobre 1710*. In: Bernoulli J (2008) *Die Werke von Joann I und Nicolaus II Bernoulli*. Birkhäuser, Basel, Band 6, pp 461–474

45. Bernoulli J (1729) *Theoremata selecta pro conservatione virium vivarum demonstranda et experientia confirmanda* (1727). In: Bernoulli Johann Opera Omnia, vol 3. Bousquet, Lausanne and Geneva, pp 124–130
46. Bernoulli J (1724) Du discours sur le loix de la communication du mouvement (1724). In: Bernoulli Johann (1742) Opera Omnia, vol 3. Bousquet, Lausanne and Geneva, pp 1–81
47. Bernoulli J (1735) De vera notione virium vivarum, earunque usu in dynamicis. In: Bernoulli Johann (1742) Opera Omnia, vol 3. Bousquet, Lausanne and Geneva, pp 239–260
48. Bernoulli J (1742) Propositiones variae mechanico-dynamicae. In: Bernoulli Johann Opera Omnia, vol 4. Bousquet, Lausanne and Geneva
49. Bernoulli Johann (1742) Opera omnia (4 vols). Bousquet, Lausanne and Geneva
50. Bernoulli (1955-) Die gesammelten Werke der Mathematiker und Physiker der Familie Bernoulli (in progress). Birkhäuser, Basel
51. Bernoulli J (2008) Die Werke von Johann I und Nicolaus II Bernoulli. In: Bernoulli (1955-) Die gesammelten Werke der Mathematiker und Physiker der Familie Bernoulli. Birkhäuser, Basel, Band 6
52. Boherhaave H (1727) A new method of chemistry. Osborn J, Longan T, London
53. Borda de JC (1770) Sur les roues hydrauliques (1767). Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris, pp 270–287
54. Borelli GA (1666) *Theoriae mediceorum planetarum. Ex typographia SMD*, Florence
55. Borelli GA (1670) De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus. Ferri D, Naples
56. Borro G (1576) *The motu gravium et levium*. Officina Maescotti G, Florence
57. Boscovich GR (1745) *De viribus vivis dissertatio*. Komarek, Rome
58. Boscovich GR (1763) *Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Remondini, Venice
59. Bradwardine T (1955) Thomas Bradwardine and his Tractatus de proportionibus (Edited and trans: Crosby HL). University of Wisconsin Press, Madison
60. Bravais A (1866) *Études cristallographiques*. Gauthier-Villars, Paris
61. Brugmans A (1785) *Specimen mechanicae veterum per mechanicam recentiore plenius expositum. Commentationes Societatis Regiae Scientiarum Gottingensi 7:75–88*
62. Bruno G (2003) *La cena de le ceneri*. Mondadori, Milan
63. Buonamici F (1591) *De motu libri X. Sermartellium B*, Florence
64. Buridan J (1509) *Quaestiones super octo phisicorum libros Aristotelis*. Reprinted as: Buridan J (1964) *Johannes Buridanus. Kommentar zur Aristotelischen Physik*, Minerva, Frankfurt
65. Buridan J (1942) *Quaestiones super libris quattuor de caelo et mundo*. In: Moody EA (ed). *The Mediaeval Academy of America*, Cambridge
66. Cardano G (1554) *De subtilitate*. Ludovicum Lucium. Basileae
67. Cardano G (1556) *Les livres de Hierosme Cardanus médecin milannois: intitulez de la subtilité et subtiles inventions, ensemble les causes occultes, et raisons d'icelles*. Le Blanc R (ed) *Le Vefve du Bosc*, Rouen
68. Carmoby T, Kobus H (1968) *Hydrodynamics by Daniel Bernoulli and Hydraulics by Joahn Bernoulli*. Translated into English by Carmoby T, Kobus H, Diver, New York
69. Carnot L (1786) *Essai sur les machines en général* (1782). Defay, Dijon
70. Carnot L (1797) *Oeuvres mathématiques du citoyen Carnot*. Decker, Bâle
71. Carnot L (1803) *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*. Deterville, Paris
72. Carnot L (1803) *Géométrie de position*. Duprat, Paris
73. Carnot S (1824) *Réflexions sur la puissance du feu et sur les machines*. Bachelier, Paris
74. Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes (27 vols)*. Gauthier-Villars, Paris
75. Cauchy AL (1823) *Recherches sur l'équilibre et le mouvement intérieur des corps solides ou fluides élastiques ou non élastiques*. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes (27 vols)*, vol 2. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 300–304
76. Cauchy AL (1827) *Sur la condensation et la dilatation des corps solides*. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes (27 vols)*, vol 7. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 82–93
77. Cauchy AL (1827) *De la pression ou tension dans un corps solide*. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes (27 vols)*, vol 7. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 60–81

78. Cauchy AL (1827) Sur les relations qui existent dans l'état d'équilibre d'un corps solide ou fluide entre les pressions ou tensions et les forces accélératrices. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (27 vols), vol 7. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 141–145
79. Cauchy AL (1828) Sur l'équilibre et le mouvement d'un un système de points matériels sollicités par des forces d'attraction ou de répulsion mutuelle. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (27 vols), vol 8. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 227–252
80. Cauchy AL (1828) De la pression ou tension dans un système de points matériels. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (vol 27), vol 8. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 253–277
81. Cauchy AL (1828) Sur les équations qui expriment les conditions d'équilibre ou les lois du mouvement intérieur d'un corps solide élastique ou non élastique. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (27 vols), vol 8. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 195–226
82. Cauchy AL (1829) Sur les équations différentielles d'équilibre ou de mouvement pour un système de points matériels. In: Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (27 vols), vol 9. Gauthier-Villars, Paris, s II, pp 162–173
83. Cauchy AL (1841) Mémoires sur les condensations et rotations produits par un changement de forme dans un système de points matériels. Cauchy AL (1882–1974) *Oeuvres complètes* (27 vols), vol 12. Gauthier-Villars, Paris s II:278–287
84. Cauchy AL (1851) *Varies*. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 32:326–330
85. Cavalieri B (1632) *Lo specchio ustorio, ovvero trattato delle settioni coniche*. Ferroni C, Bologna
86. Christian GJ (1822–1825) *Traité de mécanique industrielle*. Bachelier, Paris
87. Clapeyron EBP (1857) Calcul d'une poutre élastique reposant librement sur des appuis inégalement espacés. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 45:1076–1080
88. Clarke J, Clarke S (1723) *Rohault's system of natural philosophy*. Knapton J, London
89. Clarke S (1727) *A collection of papers which passed between the late learned Mr. Leibnitz and Dr. Clarke*. Knapton J, London
90. Clairaut AC (1749) *Dissertation du système du monde dans les principes de la gravitation universelle*. Pitteri F, Venice
91. Clebsch RFA (1862) *Theorie der Elasticität fester Körper*. Teubner BG, Leipzig
92. Clebsch RFA (1883) *Théorie de l'élasticité des corps solides*. Traduite par MM. Barré de Saint Venant et Flamant, avec des notes étendues de M. Barré de Saint Venant. Dunod, Paris
93. Copernico N (1543) *De revolutionibus orbium coelestium*. Petreium J, Nuremberg
94. Coriolis G (1829) *De calcul de l'effet de machines*. Carilian-Goeury, Paris
95. Coriolis G (1832) Mémoire sur le principe des forces vives dans le mouvements relatifs des machines (1831). *Journal de l'École polytechnique* 21(13):268–302
96. Coriolis G (1835) Mémoire sur la manière d'établir les différens principes de mécanique pour des systèmes de corps, en les considérant comme des assemblages de molécules. *Journal de l'École polytechnique* 24(15):93–125
97. Coriolis G (1835) Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps. *Journal de l'École polytechnique* 24(15):142–154
98. Coriolis G (1844) *Traité de la mécanique des corps solides et du calcul de l'effet des machines*. Carilian-Dalmont, Paris
99. Coulomb CA (1776) *Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatif à l'architecture* (1773). *Mémoires de mathématique & de physique, présentés à l'Académie Royale des Sciences par divers savans* 7:343–382
100. Coulomb CA (1821) *Théorie des machines simples*. Bachelier, Paris
101. D'Alembert (1752) *Essai d'une nouvelle théorie sur la résistance des fluide*. David, Paris
102. D'Alembert J (1758) *Traité de dynamique* (1743). David, Paris
103. D'Alembert J (1763) *Essai sur les eleméns de la philosophie*. In: D'Alembert J (1763) *Mélanges de littérature, d'histoire et de philosophie* (6 vols). Catelain, Amsterdam, vol 4
104. D'Alembert J (1772) Mémoire sur les principes de la mécanique (1769). *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, pp 278–286

105. Dal Monte G (1577) *Mechanicorum liber*. Hieronymum Concordiam, Pesauri
106. Dal Monte G (1615) *Le mecaniche dell'illustriss. sig. Guido Ubaldo de' marchesi del Monte*. Tradotte in volgare da Filippo Pigafetta (1581). Deuchino E, Venezia
107. Democritus (1970) *Democrito*. Raccolta dei frammenti. Interpretazione e commenti di Salomon Luria (trans Russian into Italian: Fusaro D). Bompiani, Milan
108. Dupin C (1822) *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux arts*, vol 3. Bachelier, Paris, pp 1825–1826
109. da Vinci L (1940) *I libri di meccanica*. Uccelli A (ed) Hoepli, Milano
110. da Vinci L (1881–1991) *Les manuscrits de Leonard de Vinci*, vol 6. Ravaisson-Mollien, Paris
111. da Vinci L (1988) *Il codice Arundel della British Library*. In: Pedretti C (ed). Giunti, Florence
112. da Vinci L (1992) *Codice Leicester*. Treccani, Rome
113. da Vinci L (2006) *Il codice atlantico*. Giunti, Florence-Milan
114. de Challes CFM (1674) *Cursus seu mundus mathematicus* (3 vols). Ex Officina Anissoniana, Lyons
115. de Caus S (1615) *Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines*. Norton J, Frankfurt
116. Della Porta GB (1606) *I tre libri de' spiritali*. Carlino I, Naples
117. De Nemore J (1533) *Liber Iordani Nemorarii viri clarissimi, de ponderibus propositiones XIII & earundem demonstrationes, multarumque rerum rationes sane pulcherrimas complectens*. Apianus P (ed) An edition of version P and the 'Aliud commenum'. Iohannes Petreium, Nuremberg
118. De Nemore J (1565) *Jordani opusculum de ponderositate*. In: Tartaglia N (ed) *Curtio Troiano*, Venice
119. Deparcieux A (1759) *Mémoire dans lequel on démontre que l'eau d'une chute destinée a faire mouvoir quelque machin, moulin ou autre (1754)*. *Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, pp 603–614
120. Desaguliers JT (1744) *A course of experimental philosophy* (2 vols). Innys W et al. London
121. Descartes R (1644) *Principia philosophiae*. Ludovicum Elzevirium, Amsterdam
122. Descartes R (1664) *Le monde ou traité de la lumiere*. Girard, Paris
123. Descartes R (1668) *Les principes de la philosophie, écrits en latin par René Descartes*. Girard, Paris
124. Descartes R (1964–1974) *Oeuvres de Descartes; nouvelle édition complétée (1896–1913)*, vol 11. In: Adam C, Tannery P (eds). Vrin, Paris
125. Duhem P (1911) *Traité d'énergétique ou de thermodynamique générale* (2 vols). Gauthier-Villars, Paris
126. *Encyclopédie (1751–1772) Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, vol 17. Briasson-David-Le Breton-Durand, Paris
127. Eötvös R (1890) *Über die Anziehung der Erde auf verschiedene Substanzen*. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn* 8:65–68
128. Euclid (1945) *The optics of Euclid* (trans: Burton HD). *J Opt Soc* 35(5):357–372
129. Euler JA (1754) *Enodatio quaestionis quomodo vis aquae aliisque fluidi cum maximo lucro ad molas circum agendas aliave opera perficienda impendi possit?* Kubler DF, Göttingen
130. Euler L (1736) *Mechanica, sive motus scientia analytica exposita* (2 vols). Academiae Scientiarum, Petersburg
131. Euler L (1744) *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes; sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*. Bousquet MM, Lausanne
132. Euler L (1749) *Scientia navalis (1741)* (2 vols). Academiae Scientiarum, Petersburg
133. Euler L (1752) *Découverte d'un nouveau principe de mécanique (1750)*. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin* 6:185–217
134. Euler L (1750) *Sur la vibrations des cordes (1748)*. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin* 4:69–85
135. Euler L (1754) *Maximes pour arranger le plus avantageusement les machines destinées à élever de l'eau par le moyen des pompes*. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin* 8:185–232

136. Euler L (1757) Principes généraux de l'état d'équilibre des fluides. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin* 11:217–273
137. Euler L (1761) Principia motu fluidorum. *Novi Commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae* 6:271–311
138. Euler L (1765) Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum (1760). Röse AF, Rostok
139. Euler L (1773) De pressione ponderis in planum in cui incumbit. *Novi Commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae* 18:289–329
140. Euler L (1776) Nova methodus motum corporum rigidorum determinandi. *Novi Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae* (1775) 20:208–238
141. Euler L (1787) Institutiones calculi differentialis cum eius usu in analysi finitorum ac doctrina serierum (1755). Galeazzi P, Ticino
142. Euler L (1823) Letters of Euler on different subjects in natural philosophy addressed to a German Princess. Tait and Longman, London
143. Euler L (1911–) Leonhardi Euleri Opera omnia (in progress). Teubneri GB; [then] Fussli Turici; [then] Birkhäuser, Basel
144. Fabri H (1646) Tractatus physicus de motu locali. Champion I, Lyon
145. Fermat de P (1891–1922) Oeuvres de Fermat (5 vols). In: Tannery P, Henry C (eds). Gauthier-Villars, Paris
146. Fourier J (1822) Théorie analytique de la chaleur. Firmin-Didot, Paris
147. Fourneyron B (1840) Mémoires sur les turbines hydrauliques. Leroux, Liege
148. Fresnel AJ (1821) Supplément au mémoire sur la double réfraction. In: Fresnel AJ (1868) Oeuvres Complètes (3 vols). Fresnel LF, Senarmont HH, Verdet E (eds). Imprimerie Impériale, vol 2, Paris, pp 343–367
149. Galilei G. Ms Gal. 72. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Florence
150. Galilei G. Ms Gal. 74. Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Florence
151. Galilei G (1590) De motu antiquiora. In: Galilei G (1890–1909) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols). In: Favaro A (ed) vol 1. Barbera, Florence, pp 243–419
152. Galilei G (1590) De motu antiquiora (trans: Fredette R) (2000). <http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi>
153. Galilei G (1604–1606) Trattato della sfera ovvero cosmografia. In: Galilei G (1890–1909) Favaro A (ed) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols), vol 2. Barbera, Florence, pp 203–255
154. Galilei G (1612) Discorsi intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono. In: Galilei G (1890–1909) Favaro A (ed) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols), vol 4. Barbera, Florence, pp 57–141
155. Galilei G (1632) Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo. In: Galilei G (1890–1909) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols). In: Favaro A (ed) vol 7. Barbera, Florence, pp 21–520
156. Galilei G (1634) Les mécaniques de Galilée, mathématicien et ingénieur du Duc de Florence. In: Mersenne M (ed). Paris, Guenon
157. Galilei G (1638) Discorsi e dimostrazioni matematiche sopra due nuove scienze (1638). In: Galilei G (1890–1909) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols). In: Favaro A (ed) vol 8. Barbera, Florence, pp 39–362
158. Galilei G (1649) Le mecaniche. In: Galilei G (1890–1909) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols). In: Favaro A (ed) vol 2. Barbera, Florence, pp 147–190
159. Galilei G (1656) Opere di Galileo Galilei linceo (2 vols). Eredi del Dozza, Bologna
160. Galilei G (1843–1856) Le opere di Galileo Galilei (15 vols). In: Alberi E (ed) Società editrice fiorentina, Florence
161. Galilei G (1890–1909) Le opere di Galileo Galilei (National edition) (20 vols). In: Favaro A (ed). Barbera, Florence
162. Galilei G (1960) On motion. In: Drabkin IE, Drake S (eds) Galileo Galilei: On motion and on mechanics. The University of Wisconsin Press, Madison, pp 3–131
163. Galileo G (1974) Two new sciences. The University of Wisconsin Press, Madison (Translated into English by Drake S)

164. Galilei G (2002) *Le mecaniche*. In: Gatto R (ed). Florence, Olschki
165. Gauss CF (1840) *Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte*
166. Gassendi P (1642) *De motu impresso a motore translato epistolae duae*. De Heuqueville L, Paris
167. Giannantoni G (ed) (1993) *I Presocratici* (2 vols). Laterza, Bari
168. Gilbert G (1600) *De magnetibus, magneticisque corporibus, et de magno magnetis telluris*. Short P, London
169. 'sGravensande WJ (1729) *Remarques sur la force des corps en mouvement, et sur le choc*. *Histoire de La Haye* 13:189–197
170. 'sGravensande WJ (1729) *Mathematical elements of natural philosophy confirmed by experiments* (2 vols) (trans: Desaguliers JT). Innys W, Longman T, Shewell T, Hitch C, Senex M, London
171. Green G (1835) *On the determination of the exterior and interior attractions of ellipsoids of variable densities*. Green G (1871) *Mathematical papers*. McMillan, London, pp 187–222
172. Green G (1839) *On the reflection and refraction of light at the common surface of two non-crystallized media*. Green G (1871) *Mathematical papers*. McMillan, London, pp 245–269
173. Green G (1871) *An essay on the application of the mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism* (1828). In: Green G (1871) *Mathematical papers*. McMillan, London, pp 1–82 (see also: Green G (1852) *An essay on the application of the mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism*. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 44:356–374)
174. Guenyveau A (1810) *Essai sur la science des machines*. Reymann, Lyon
175. Hamilton WR (1834) *On a general method in dynamics; by which the study of the motions of all free systems of attracting or repelling points is reduced to the search and differentiation of one central relation, or characteristic function*. *Philos Trans R Soc Lond* 124:247–308
176. Hamilton WR (1834) *On the application to dynamics of a general mathematical method previously applied to optics*. Report of the fourth meeting of the British Association for the Advancement of Science; held at Edinburg. Murray J, London, pp 513–518
177. Hamilton WR (1835) *Second essay on a general method in dynamics*. *Philos Trans R Soc Lond* 125:95–144
178. Helmholtz H (1889) *Über die Erhaltung der Kraft* (1847). Engelmann, Berlin
179. Herigone P (1634) *Cursus mathematici tomus tertius*. Troisième tome du cours mathématique. Henry le Gras, Paris
180. Hertz H (1894) *Hertz Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhänge dargestellt*. Barth JA, Leipzig
181. Hero Alexandrinus (1893) *Les mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie*. Arabic text and French translation by Carrà de Vaux. *J Asiatique* 9(1):386–472
182. Hero Alexandrinus (1900) *Heron's von Alexandria Mechanik und Katoptrik*. In: Hero (1899–1914) Nix L, Schmidt W (eds) *Heronis Alexandrini opera quae supersunt omnia* (5 vols), vol 2.1. Teubner, Leipzig
183. Hero Alexandrinus (1999) *Heron Alexandrinus Mechanica*. Translated into English by Jutta Miller. <http://archimedes.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.cgi>
184. Herman J (1716) *Phoronomia, sive, de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum libri duo*. Wetstenios, Amsterdam
185. Hilbert D (1904) *Über das Dirichletsche Prinzip*. *Mathematische Annalen* 59:161–186
186. Hilbert D (1905) *Über das Dirichletsche Prinzip*. *Journal für die reine und angewandte Mathematik* 129:63–67
187. Huygens C (1669) *A summary account of the laws of motion, communicated by Mr. Christian Hugen in a letter to the R. Society, and since printed in French in the Journal Des Scavans of March 18, 1669*. *Philos Trans R Soc Lond* 4:925–928
188. Huygens C (1673) *Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato*. In: Huygens C (1888–1950) *Oeuvres complètes di Christiaan Huygens* (22 vols), vol 18. Martinus Nijhoff, Den Haag, pp 69–359

189. Huygens C (1888–1950) *Oeuvres complètes di Christiaan Huygens* (22 vols). Martinus Nijhoff, Den Haag
190. Jacobs CGJ (1882–1891) *Gesammelte werke* (8 vols). Reimer G, Berlin
191. Joule JP (1843) On the calorific effects of magneto-electricity, and on the mechanical value of heat. In: Joule JP (1884–1887) *Scientific papers* (2 vols). Phys Soc London 1:123–159
192. Joule JP (1845) On the existence of an equivalent relation between heat and the ordinary forms of mechanical power. In: Joule JP (1884–1887) *Scientific papers* (2 vols). Phys Soc Lond 1:202–205
193. Joule JP (1847) On the mechanical equivalent of the heat as determined by the heat evolved by friction of fluids. In: Joule JP (1884–1887) *Scientific papers* (2 vols). Phys Soc Lond 1:277–281
194. Joule JP (1847) On matter, living force, and heat. In: Joule JP (1884–1887) *Scientific papers* (2 vols). Phys Soc Lond 1:265–276
195. Joule JP (1850), On the mechanical equivalent of heat. *Philos Trans R Soc Lond* (1849) 140:61–82
196. Joule JP (1884–1887) *Scientific papers* (2 vols). The Physical Society of London
197. Kant I (1786) *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Hartknoch JF, Riga
198. Kepler J (1596) *Prodromus dissertationum cosmographicarum seu mysterium cosmographicum*. Gruppenbachius G, Tübingen
199. Kepler J (1609) *Astronomia nova, seu physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis*. Voegelin, Heidelberg
200. Kepler J (1618–1621) *Epitome astronomiae copernicanae*. Plancus I, Linz
201. Kepler J (1619) *Harmonices mundi*. Plancus I, Linz
202. Kepler J (1858) *Prodromus dissertationum cosmographicarum seu mysterium cosmographicum* (second edition 1621). In: Kepler J (1858–1871) *Joannis Kepleri Opera Omnia* (8 vols), Frisch CH (ed) vol. 1. Heyder and Zimmer, Frankfurt
203. Kepler J (1992) *New astronomy* (Trans: Donahue WH). Cambridge University Press, Cambridge
204. Kirchhoff G (1876) *Vorlesungen über mathematische Physik. Mechanik*, Teubner, Leipzig
205. Lagrange JL (1760–1761) *Essai d'une nouvelle méthode pour déterminer les maxima et les minima des formules des intégrales indéfinies*. In: Lagrange JL (1867–1892) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols). Serret JA, [Darboux G] (eds) vol 1. Gauthier-Villars, Paris, pp 335–362
206. Lagrange JL (1760–1761) *Application de la méthode exposée dans le mémoire précédente à la solution de différents problèmes de dynamique*. In: Lagrange JL (1867–1892) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols). Serret JA, [Darboux G] (eds) vol 1. Gauthier-Villars, Paris, pp 363–468
207. Lagrange JL (1763) *Recherches sur la libration de la Lune*. In: Lagrange JL (1867–1892) Serret JA [Darboux G] (eds) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols), vol 6. Gauthier-Villars, Paris, pp 5–61
208. Lagrange JL (1780) *Théorie de la libration de la Lune*. In: Lagrange JL (1867–1892) Serret JA [Darboux G] (eds) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols), vol 5. Gauthier-Villars, Paris, pp 5–124
209. Lagrange JL (1788) *Mécanique analytique*. Desaint, Paris
210. Lagrange JL (1797) *Sur les principes des vitesses virtuelles*. *Journal de l'École polytechnique* 5:115–118
211. Lagrange JL (1797) *Théorie des fonctions analytiques*. Imprimerie de la République, Paris
212. Lagrange JL (1811) *Mécanique analytique* (vol 1, 2nd edn). In: Lagrange JL (1867–1892) Serret JA [Darboux G] (eds) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols), vol 11. Gauthier-Villars, Paris
213. Lagrange JL (1815) *Mécanique analytique* (vol. 2, 2nd edn). In: Lagrange JL (1867–1892) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols). In: Serret JA, [Darboux G] (eds) vol 12. Gauthier-Villars, Paris
214. Lagrange JL (1867–1892) *Oeuvres de Lagrange* (14 vols). In: Serret JA, [Darboux G] (eds) Gauthier-Villars, Paris
215. Lagrange JL (1853–1855) *Mécanique analytique* (2 vols, 3rd edn). In: Bertrand J (ed) Mallet-Bachelier, Paris

216. Lagrange JL (1987) Principi di analisi sublime. In: Borgato MT (ed) *Bollettino Storia Scienze Matematiche* 7(2):45–200
217. Lagrange JL (1997) *Analytical mechanics*, translated from the *Mécanique analytique*, nouvelle édition of 1811 Translated into English by Boissonnade A, Vagliente VN, Springer, Dordrecht
218. Lamé G (1852) *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*. Mallet-Bachelier, Paris
219. Lamé G (1857) *Leçons sur les fonctions inverses des transcendentes et les surfaces isotherme*. Mallet-Bachelier, Paris
220. Lamé G (1859) *Leçons sur les coordonnées curvilignes et leurs diverses applications*. Mallet-Bachelier, Paris
221. Lamé G (1861) *Leçons sur la théorie analytique de la chaleur*. Mallet-Bachelier, Paris
222. Lamé G (1863) Note sur la marche à suivre pour découvrir le principe seul véritablement universel de la nature physique. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 56:983–989
223. Laplace PS (1785) *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes*. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris* (1782), pp 113–196
224. Laplace PS (1805) *Traité de mécanique céleste* (1798) (5 vols). Courcier, Paris
225. Leibniz GW (1686) *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem nature, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari; qua et in re mechanica abutuntur*. *Acta Eruditorum* 3:161–163
226. Leibniz GW (1689) *Tentamen de motuum coelestium causis*. *Acta Eruditorum* 2:82–96
227. Leibniz GW (1692) *Essay de dynamique*. In: Leibniz GW (1859–1875) *Oeuvres de Leibniz* (7 vols). Foucher de Careill A (ed) vol 1. Firmin Didot, Paris, pp 470–483
228. Leibniz GW (1689–1690) *Dynamica de potentia at legibus naturae corporum*. In: Leibniz GW (1860) *Mathematische Schriften*. Gerhardt CI (ed) Schmidt HW, Berlin-Asher A, Halle, Zweite Abtheilung, Band II, pp 281–431
229. Leibniz GW (1695) *Specimen dynamicum*. In: Leibniz GW (1860) *Mathematische Schriften*. Gerhardt CI (ed). Schmidt HW, Berlin-Asher A, Halle, Zweite Abtheilung, Band II, pp 234–246 (part II, pp 246–254) (trans: Langley AG). In: Leibniz GW (1916) *News essays concerning the human understanding*. Open Court, Chicago, pp 670–683 (pars II, pp 683–692)
230. Leibniz GW (1699) *Essay de dynamique sur les loix du mouvement*. In: *Mathematische Schriften* (7 vols) Gerhardt CI (ed). Schmidt HW, Berlin-Asher A, Halle, Zweit Abtheilung II, Band II, pp 215–231
231. Leibniz GW (1875–1890) *Die philosophischen Schriften* (7 vols). In: Gerhardt CI (ed). Weidmann, Berlin
232. Leibniz GW (1849–1863) *Mathematische Schriften* (7 vols). In: Gerhardt CI (ed). Schmidt HW, Berlin-Asher A, Halle
233. Leibniz GW (1890) *The philosophical works of Leibnitz*. In: Duncan GM (ed). Morehouse and Taylor, New Haven
234. Leibniz GW (1916) *News essays concerning human understanding* (1704). Open Court, Chicago
235. Leibniz GW (1923-) *Sämtliche Schriften und Brief*. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin (eds). Akademie-Verlag, Berlin *News essays concerning human understanding* (1704). Open Court, Chicago
236. Leibniz GW (1994) *La reforme de la dynamique*. Fichant M (ed). Vrin, Paris
237. Le Tenneur JA (1649) *De motu naturaliter accelerato. Tractatus physico mathematicus*. Boulenger L, Paris
238. Lucretius CT (1910) *Lucretius: on the nature of things* (trans Bailey C). Clarendon Press, Oxford
239. Maclaurin C (1742) *Treatise of fluxions* (2 vols). Ruddimans, Edinburgh
240. Mariotte E (1686) *Traité des eaux et autres corps fluides*. Michallet E, Paris
241. Maupertuis PL (1742) *Loi du repose du corps* (1740). *Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris*, pp 170–176

242. Maupertuis PL (1748) Accord de différentes loix de la nature qui avoient jusqu'ici paru incompatibles. Mémoires de l'Académie Royal des Sciences de Paris (1744), pp 417–426
243. Maupertuis PL (1748) Des loix du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique (1746). Histoire de l'Académie Royale des Sciences et des Belles-Lettres de Berlin, pp 267–294
244. Maupertuis PL (1756) Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'essai de cosmologie. Mémoires de l'Académie des Sciences et des Belles-Lettres de Berlin, pp 389–424
245. Mayer JR (1842) Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur. Justus Liebigs Annalen der Chemie 42:233–240
246. Mersenne M (1636) Harmonie universelle, contenant la theorie et la pratique de la musique. Ballard P, Paris
247. Mersenne M (1644) Tractatus mechanicus theoreticus et practicus. In: Mersenne M (1644) Cogitata physico mathematica. Bertier A, Paris
248. Mersenne M (1945–1986) Correspondance du P. Marin Mersenne religieux minime (16 vols). de Waard C (editor from 1859). Presses universitaires de France; Édition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris
249. Monge G (1810) Traité élémentaire de statique (1786). Courcier, Paris
250. Moseley H (1841) Researches in the theory of machines. Philos Trans R Soc Lond 131:285–305
251. Noviomago DS (1561) Problematum astronomicorum et geometricorum. Henricum Petri et Petrum Pernam, Basel
252. Navier CLMH (1827) Mémoire sur les loix de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastique (1821). Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris 7:375–393
253. Navier CLMH (1864) Résumé des leçons données à l'école des pontes et chaussées (avec des notes et des appendices par M Barré de Saint-Venant). Dunod, Paris
254. Navier CLMH (1826) Résumé des leçons données à l'École royale des Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique à l'établissement des constructions et des machines. Firmin Didot, Paris
255. Navier CLMH (1818) Détails historiques sur l'emploi du principe des forces vives dans la théorie des machines et sur diverses roues hydrauliques. Annales de Chimie et Physique 9:146–159
256. Nelli GBC (1793) Vita e commercio letterario di Galileo Galilei: nobile e patrizio fiorentino, mattematico e filosofo straordinario de' Gran Duchi di Toscana Cosimo e Ferdinando II. [s.n.], Losanna
257. Newton I. Papers connected with the Principia. The Portsmouth Collection MS Add. 3965. Cambridge Digital Library, Cambridge
258. Newton I. Newton papers collection. Cambridge digital library, Cambridge
259. Newton I. The Newton project. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>
260. Newton I (1670) De gravitatione et aequipondio fluidorum. MS Add. 4003. The Newton project. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>
261. Newton I (1684) De motu corporum in gyrum. MS Add. 3965. Transcription. In: The Newton project. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>
262. Newton I (1684) De motu sphaericorum corporum in fluids. MS Add. 3965. Transcription. In: The Newton project. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>
263. Newton I (1684) De motu corporum in medijs regulariter cedentibus. MS Add. 3965. Transcription. In: The Newton project. <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>
264. Newton I (1687) Philosophiae naturalis principia mathematica. Jussu Societatis Regiae ac Typis Joseph Streater, London
265. Newton I (1688) Newton Isaaci, Philosophiae naturalis principia mathematica. Acta Eruditorum 6:303–315
266. Newton I (1713) Philosophiae naturalis principia mathematica (2nd edn). Crownfield C, Cambridge

267. Newton I (1721) *Opticks, or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light* (3rd edn). Innys W, Innys J, London
268. Newton I (1726) *Philosophiae naturalis principia mathematica* (3rd edn). Innys W, Innys J, London
269. Newton I (1736) *The method of fluxions and infinite series* (1671). Woodfall H, London
270. Newton I (1846) *Isaac Newton's Principia* (trans: Motte A) (1729). Adee D, New York
271. Newton I (1962) *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*. In: Hall MB (ed) Hall AR. Cambridge University Press, Cambridge
272. Newton I (1972) *Philosophiae naturalis principia mathematica*. The third edition (1726) with variant reading (2 vols). Assembled and edited by Koyré A and Cohen IB, with assistance of Whitman A. Cambridge University Press, Cambridge
273. Newton I (1728) *A treatise of the system of the world* (trans: Motte A). Fayram F, London
274. Oresme N (1966) *De proportionibus proportionum* (1328) (trans: Grant E). University of Wisconsin Press, Madison
275. Oresme N (1968) *Le livre du ciel et du monde*. University of Wisconsin Press, Madison (Translated into English by Menut AD)
276. Ostwald W (1908) *Die energie*. Bart JA, Leipzig
277. Ostwald W (1910) *Natural philosophy*. Holt H, New York
278. Ostwald W (1910) *L'énergie*. Alcan, Paris
279. Pacioli L (1509) *De divina proportione* (1497). Paganini, Venice
280. Pacioli L (1992) *Summa de arithmetica geometria proportioni et proportionalita* (1494). Pistolesi, Siena
281. Luca Pacioli (2009) *Summa de arithmetica geometria proportioni et proportionalita*. Paganini, Venice. English paraphrase by Richard J. Pulskamp. Department of Mathematics and Computer Science, Xavier University, Ohio
282. Papin D (1690) *Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas*. *Acta Eruditorum* 8:410–414
283. Pappus Alexandrinus (1588) *Mathematica collectiones a Federico Commandino urbinatinate in latinum conversae*. Hieronimum Concordiam, Pesaro
284. Hultsch FO (1878) *Pappi Alexandrini collections* (3 vols). Weidmannas, Berlin
285. Pappus Alexandrinus (1970) *The Arabic version of the mathematical collection of Pappus Alexandrinus Book VIII*. Jackson D, PhD dissertation. The University of Cambridge Press, Cambridge
286. Parent A (1745) *Sur la plus grande perfection possible des machines* (1704). *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris*, pp 323–338
287. Philoponus J (1993) *On Aristotle's Physics 2*. Lacey A (ed). Corneill University Press, Ithaca
288. Piola G (1832) *La meccanica de' corpi naturalmente estesi trattata col calcolo delle variazioni*. *Opuscoli matematici e fisici di diversi autori*
289. Poinso L (1804) *Mémoire sur la compositions des momens et des aires*. Poinso L (1834) *Elements de statique*. Gauthier-Villars, Paris, pp 341–378
290. Poinso L (1834) *Elements de statique* (1803). Gauthier-Villars, Paris
291. Poisson SD (1829) *Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*. *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France* 8:357–570
292. Poisson SD (1811) *Traité de mécanique* (2 vols). Courcier, Paris
293. Poisson SD (1827) *Note sur les vibrations des corps sonores*. *Annales de Chimie et de Physique* 34:86–93
294. Poisson SD (1813) *Remarqués sur une équation qui se présente dans la théorie des attractions des sphéroïdes*. *Nouveau Bulletin de la Société Philomatique de Paris* 3:388–392
295. Poisson SD (1831a) *Mémoire sur la propagation du mouvement dans les milieux élastiques*. *Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France* 10:549–605
296. Poisson SD (1833) *Traité de mécanique* (2 vols). Bachelier, Paris
297. Poisson SD (1838) *Traité de mécanique*. In: Garnier JC (ed) *Société Belge de Librairie*, Bruxelles

298. Poncelet JV (1825) Mémoire sur les roues verticales à palettes courbes mues par en dessous, suivi d'expériences sur les effets mécaniques de ces roues. *Annales de Chimie et de Physique* 30(136–188):225–257
299. Poncelet JV (1827) Mémoire sur les roues verticales à aubes courbes mues par en dessous, suivi d'expériences sur les effets mécaniques de ces roues. Thiel, Metz
300. Poncelet JV (1829) *Course de mécanique industrielle*. Thiel, Metz
301. Poncelet JV (1841) *Introduction à la mécanique industrielle*. Thiel, Metz
302. Poncelet JV (1874) *Cours de mécanique appliquée aux machines*. Gauthier-Villars, Paris
303. Prony GCFMR (1790–1796) *Nouvelle architecture hydraulique, contenant l'art d'élever l'eau au moyen de différentes machines, de construire dans ce fluide, de le diriger, et généralement de l'appliquer, de diverses manières, aux besoins de la société* (2 vols). Didot F, Paris
304. Rankine WJM (1855) *Outlines of the energetic science* (1853). *Proc Philos Soc Glasgow* 3(6):276–280
305. Rankine WJM (1881) *Miscellaneous scientific papers*. Millar, London
306. Reech F (1852) *Cours de mécanique d'après la nature généralement flexible et élastique des corps*. Carilian-Goeury et Vor Dalmont, Paris
307. Regiomontanus J (1972) *Joannis Regiomontani Opera collectanea*. Schemeidler (ed). Zeller, Osnabrück
308. Roberval GP (1636) *Traité de mécanique des poids soustenus par des puissances sur les plans inclinés al'horizon*. Charlemagne R, Paris
309. Rumford TB (1798) An experiment inquiry concerning the source of heat which is excited by friction. *Philos Trans R Soc Lond* 88:80–102
310. Saint Venant AJC Barré de (1843a) Mémoire sur le calcul de la résistance et de la flexion des pièces solides à simple ou à double courbure en prenant simultanément en considérations les diverse efforts auxquelles peuvent être soumises dans tous les sens. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 17:942–954
311. Saint Venant AJC Barré de (1843b) Mémoire sur le calcul de la résistance d'un pont en charpente et sur la détermination au moyen de l'analyse des efforts supportés dans les constructions existantes des grandeurs des nombres constantes qui entrent dans les formules de résistance des matériaux (avec Paul Michelot). *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 17:1275–1277
312. Saint Venant AJC Barré (1851) *Principes de mécanique fondé sur la cinématique*. Bachelier, Paris
313. Saint Venant AJC Barré (1863) Mémoire sur la distribution des élasticités atour de chaque point d'un solide ou d'un milieu de contexture quelconque, particulièrement lorsque il est amorphes sans être isotrope. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* 8:353–430
314. Saint Venant AJC Barré (1865) Mémoire sur les divers genres d'homogénéité des corps solides, et principalement sur l'homogénéité semi polaire on cylindrique, et sur les homogénéités polaires ou sphéronique et spherique. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* 10:297–350
315. Saint Venant AJC Barré (1868) Formules de l'élasticité des corps amorphes que des compressions permanentes et inégales ont rendus hétérotopes. *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* 13:242–254
316. Salusbury T (1665) *Mathematical collections and translations* (2 vols). Lebourne W, London
317. Sommerfeld A (1904) *The scientific results and aims of modern applied mechanics*. *Math Gazette* 3(45):26–31
318. Smeaton J (1759) An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion. *Philos Trans R Soc Lond* 51:100–174
319. Smeaton J (1776) An experimental examination of the quantity and proportion of mechanic power necessary to be employed in giving different degrees of velocity to heavy bodies from a state of rest. *Philos Trans R Soc Lond* 66:450–475
320. Smeaton J (1782) *New fundamental experiments upon the collision of bodies*. *Philos Trans R Soc Lond* 72:337–354

321. Smeaton J (1810) *Recherches expérimentales sur l'eau et le vent, considérés comme forces motrices, applicables aux moulins et autres machines a mouvement circulaire, etc.; suivies d'expériences sur la transmission du mouvement et la collision des corps* (trans: Girard PS). Courcier, Paris
322. Stevin S (1605) *Tomus quartus mathematicorum hypomnematum de statica*. Patii I, Leiden
323. Stevin S (1634) *Les oeuvres mathematiques de Simon Stevin*, par Albert Girard. Elsevier, Leiden
324. Tartaglia N (1537) *Nova scientia inventa da Nicolo Tartalea*. Stephano da Stabio, Venice
325. Tartaglia N (1558) *La Nova scientia de Nicolò Tartaglia con una giunta al terzo libro*. Curtio Troiano, Venice
326. Tartaglia N (1543) *L'Euclide megarense*. Curtio Troiano, Venice
327. Tartaglia N (1546) *Quesiti et inventioni diverse de Nicolo Tartalea* Brisciano. Ruffinelli, Venice
328. Tartaglia N (1554) *Quesiti et inventioni diverse de Nicolo Tartaglia di novo restampati con una giunta al sesto libro*. Bascarini, Venice
329. Tartaglia N (1569) *Euclide megarense acutissimo philosopho (1543)*. Bariletto, Venice
330. Tartaglia N (1876) *I sei scritti di matematica disfida di Lodovico Ferrari coi sei contro-cartelli in risposta di Niccolò Tartaglia*. In: Giordani E (ed) *Sabilimento litografico Ronchi*. Tipografia degl'Ingegneri, Milan
331. Tartaglia N (1998) *La nueva ciencia*. In: Bravo JCG (ed) *Martinez JR*. Trillas, Mexico
332. Thomson W (1857) *On the thermo-elastic and thermo-magnetic properties of matter (1855)*. *Q J Math* 1:55–77
333. Torricelli E (1644) *Opera geometrica*. Masse and de Landis, Florence
334. Torricelli E (1644) *De motu gravium*. In: Torricelli E (1644) *Opera geometrica*. Masse and de Landis, Florence, pp 95–153
335. Torricelli (1715) *Lezioni accademiche d'Evangelista Torricelli*. Stamperia SAR, Guiducci J, Franchi S, Florence
336. Varignon P (1687) *Projet d'une nouvelle mechainique avec un examen de l'opinion de M. Borelli, sur les propriétez des poids suspendus par des cordes*. Veuve d'Edme Martin, Boudot J, Martin E, Paris
337. Varignon P (1725) *La nouvelle mécanique ou statique (2 vols)*, vol 1. Claude Joubert, Paris
338. Viviani V (1674) *Quinto libro degli elementi di Euclide*. Alla Condotta, Florence
339. Young T (1807) *A course of lectures on natural philosophy (2 vols)*. Johnson J, London
340. Wallis J (1671) *Mechanica, sive de motu, tractatus geometricus*. Gulielmi Godbid, London
341. Wallis J, Wren C (1668) *A summary account of the general laws of motion by Dr. John Wallis, and Dr. Christopher Wren*. *Philos Trans R Soc Lond* 3:864–868
342. Wallis J (1686–1692) *A discourse concerning the measure of the airs resistance to bodies moved in it*. *Philos Trans R Soc Lond* 16:269–280
343. Wallis J (1656–1699) *Operum mathematicorum (3 vols)*, vol 3. Theatro Sheldoniano, Oxford, pp 596–614
344. Wallis J (1981) *The mathematical works of John Wallis (1938)*. In: Scott JF (ed). Chelsea Publishing Company, New York
345. Wallis J (2005) *The correspondence of John Wallis (1616–1703) (6 vols)*. In: Beeley P, Scriba CJ (eds) vol 2. Oxford University Press, Oxford
346. Wertheim G (1844) *Recherches sur l'élasticité*. Deuxieme mémoire. *Annales de Chimie et de Physique* II I(12):581–610

Studies

347. Abattouy M (2001) *Greek mechanics in Arabic context*. Max Plank Institute for the History of Sciences, preprint 195

348. Abattouy M (2002) The Aristotelian foundations of Arabic mechanics. Max Plank Institute for the History of Sciences, preprint 177
349. Abattouy M (2006) The Arabic transformation of mechanics: the birth of the science of weight. Foundation for Science, Technology and Civilization. FSTC Limited, Manchester,
350. Abattouy M (2009) The Arabic science of weights: Textual tradition and significance in the history of mechanics. In: Calvo E, Comes M, Puig R, Rius M (eds) A shared legacy. Islamic science East and West. Barcelona University Press, Barcelona, pp 83–114
351. Aiton EJ (1969) Kepler's second law of planetary motion. *Isis* 60(1):75–905
352. Arnold VI (1978) *Mathematical methods of classical mechanics*. Springer, New York
353. Auyang SY (2009) Knowledge in science and engineering. *Synthese* 168(3):319–331
354. Barbin E, Guitart R (2013) Mathematical physics in the style of Gabriel Lamé and the treatise of Emile Mathieu. In: Barbin E, Pisano R (eds) The dialectic relation between physics and mathematics in the XIXth century. Springer, Dordrecht
355. Barroso Filho W (1994) *La mécanique de Lagrange: principes et methodes*. Karthala, Paris
356. Barroso Filho W, Comté C (1988) La formalisation de la dynamique par Lagrange (1736–1813). In: Rashed R (ed) *Science à l'époque de la Revolution Française*. Blanchard, Paris, pp 329–348
357. Belhoste B, Lemaitre L (1990) JV Poncelet, les ingénieurs militaires et les roues et turbines hydrauliques. *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences* 29:33–89
358. Belhoste B (ed) (1994) *La formation polytechnicienne: 1794–1994*. Dunod, Paris
359. Benvenuto E (1988) *Introduction to the history of structural mechanics* (2 vols). Springer, New York
360. Bertoloni Meli D (1993) *Equivalence and priority: Newton versus Leibniz*. Clarendon Press, Oxford
361. Bertoloni Meli D (1993) The emergence of references frames and the transformation of mechanics in the Enlightenment. *Hist Stud Phys Biol Sci* 23(2):301–335
362. Besana L (1996) *La Nuova scientia di Niccolò Tartaglia: una lettura*. In: Beretta M et al (eds) *Per una storia critica della scienza*. Cisalpino, Milan, pp 49–71
363. Biener Z (2004) Galileo's first new science: The science of matter. *Perspect Sci* 12:262–287
364. Biener Z (2008) *The unity of science in early-modern philosophy: subalternation, metaphysics and the geometrical manner in Scholasticism, Galileo and Descartes*. PhD dissertation, University of Pittsburg
365. Blackwell RJ (1966) Descartes' laws of motion. *Isis* 57(2):220–234
366. Blackwell RJ (1977) Christiaan Huygens' The motion of colliding bodies. *Isis* 68(4):574–597
367. Bloch M (1963) *Mélanges historiques*. Preface by Charles-Edmond Perrin, SEVPEN, Paris
368. Born M (1962) *Einstein's theory of relativity (1920)* (trans: Brose HL). Dover, Toronto
369. Boas Hall M (2013) *The scientific Renaissance 1450–1630 (1962)*. General Publishing Company Ltd, Toronto
370. Merzbach UC, Boyer CB (2011) *A history of mathematics (1968)*. Wiley, Hoboken
371. Bridgman PW (1964) The Mach principle. In: Bunge M (ed) *The critical approach to science and philosophy*. Macmillan, London, pp 224–233
372. Brown JE (1967) *The scientia de ponderibus in the latter Middle Ages*. PhD thesis. The University of Wisconsin Press, Madison
373. Brown JE (1976) The science of weights. In: Lindberg DC (ed) *Sciences in the middle ages*. The Chicago University Press, Chicago, pp 179–205
374. Bryant L (1973) The role of thermodynamics in the evolution of heat engines. *Technol Cult* 14(2):152–165
375. Butterfield H (1957) *The origins of modern science, 1300–1800*. McMillan, New York
376. Camerota M, Helbing M (2000) Galileo and Pisan Aristotelianism: Galileo's *De motu antiquiora* and the *Quaestiones de motu elementorum* of the Pisan professors. *Early Sci Med* 5(4):319–365
377. Cannel DM (2001) *George Green: Mathematician and physicist, 1793–1841: the background of his life and work (1993)*. SIAM, Philadelphia
378. Capecchi D (2003) *Storia della scienza delle costruzioni*. Progedit, Bari

379. Capecchi D (2005) La concezione della scienza in D'Alembert. Dissertation in Philosophy, University of Rome La Sapienza
380. Capecchi D (2011) Weight as active or passive principle in the Latin and Arabic *scientia de ponderibus*. *Organon* 42:83–100
381. Capecchi D (2012) History of virtual work laws. Birkhäuser, Milan
382. Capecchi D (2013) Over and undershot waterwheels in the 18th century. Science-technology controversy. *Adv Hist Stud* 2(3):131–139
383. Capecchi D (2014) Historical and epistemological point of view of mathematical physics. *Math Mech Solids* (in press)
384. Capecchi D, Pisano R (2010) Reflection on Torricelli's principle in mechanics. *Organon* 42:83–100
385. Capecchi D, Ruta G (2007) Piola's contribution to continuum mechanics. *Arch Hist Exact Sci* 61:303–342
386. Capecchi D, Ruta C (2010) *La scienza delle costruzioni in Italia nell'Ottocento*. Springer, Milan
387. Capecchi D, Ruta G (2014) Polytechnic schools in the 19th century Europe. The Polytechnic School in Karlsruhe. *Meccanica* 49:13–21
388. Capecchi D, Ruta G (2014) Energy and engineers at the turn of the XX century. Energy and engineers at the turn of the XX century. 5^o Convegno di Storia dell'Ingegneria, Naples, pp 69–86
389. Capecchi D, Ruta G, Tazzioli R (2006) Enrico Betti: Teoria del potenziale. Hevelius, Benevento
390. Capecchi D, Ruta G, Trovalusci P (2010) Voigt's contribution to molecular models in elasticity. *Arch Hist Exact Sci* 64:525–559
391. Capriglione M (1992) Studio storico critico della meccanica analitica di JL Lagrange. Dissertation in History of Physics, University of Naples
392. Cardwell DSL (1965) Power technologies and the advance of science. *Technol Cult* 6(2):188–207
393. Cardwell DSL (1967) Some factors in the early development of the concepts of power, work and energy. *Br J Hist Sci* 3(3):209–224
394. Cardwell DSL (1976) The work of James Prescott Joule. *Technol Cult* 17(4):674–687
395. Casini P (1984) *Newton e la coscienza europea*. Mulino, Bologna
396. Caverni R (1891–1900) *Storia del metodo sperimentale in Italia*. Crivelli, Florence
397. Chalmers A (2012) Intermediate causes and explanations: The key to understand the scientific revolution. *Stud Hist Philos Sci* 43:551–562
398. Charbonnier PJ (1928) *Essay sur l'histoire de la balistique*. Société d'Éditions Géographiques, Paris
399. Charlton TM (1982) *A history of the theory of structure in the nineteenth century*. Cambridge University Press, Cambridge
400. Ciocci A (2011) *Le matematiche tra Medio Evo e Rinascimento*. International meeting, June 2011, Sansepolcro, pp 253–285
401. Clagett M (1948) Some general aspects of physics in the Middle Ages. *Isis* 39(1/2):29–44
402. Clagett M (1959) *The science of mechanics in the Middle Ages*. The University of Wisconsin Press, Madison
403. Clagett M (1964) *Archimedes in the Middle Ages*. The University of Wisconsin Press, Madison
404. Clarke DM (1977) The impact rules of Descartes's physics. *Isis* 68(1):55–66
405. Cochrane E (1976) Science and humanism in the Italian Renaissance. *Am Hist Rev* 81(5):1039–1057
406. Cohen IB (1970) Newton's second law and the concept of force in the Principia. In: Palter R (ed) *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666–1966*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 143–185
407. Cohen IB (1971) *Introduction to Newton's Principia*. Cambridge University Press, Cambridge
408. Cohen IB (1980) *The Newtonian revolution*. Cambridge University Press, Cambridge

409. Cohen IB (1985) *Revolution in science*. Harvard University Press, Cambridge
410. Cohen MR, Drabkin IE (1948) *A source book in Greek science*. McGraw-Hill, New York
411. Corbini A (2006) *La teoria della scienza nel XIII secolo. I commenti agli analitici secondi*. Edizioni del Galluzzo, Florence
412. Costabel P (1951) La controverse Descartes-Roberval au subject du centre d'oscillation et la conservation des forces vives. *Revue des Sciences Humaines* 61:74–86
413. Costabel P (1956) La 'loi admirable' de Christiaan Huygens. *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs Applications* 9(3):208–220
414. Costabel p (1960) *Leibniz et la dynamique*. Hermann, Paris
415. Costantini C (1969) *Baliani e i Gesuiti*. Giunti-Barbera, Florence
416. Crombie AC (1957) *Augustine to Galileo: the history of science, AD 400–1650*. Heinemann, Melbourne
417. Crombie AC (1986) Experimental science and the rational artist in early modern Europe. *Dedalus* 115(3):49–74
418. Crowe MJ (1967) *A history of vector analysis*. Dover, New York
419. Cuomo S (1997) Shooting by the book: notes on Niccolò Tartaglia's *Nova scientia*. *Hist Sci* 35(2):157–188
420. Cuomo S (1998) Niccolò Tartaglia, mathematics, ballistics and the power of possession of knowledge. *Endeavour* 22:31–35
421. Dahan Dalmedico A (1989) La notion de pression: de la métaphysique aux diverses mathématisations. *Revue d'Histoire des Sciences* 42(1):79–108
422. Dahan Dalmedico A (1993) *Mathématisations. Augustin-Louis Cauchy et l'école française*, Du Choix, Paris
423. Damerow P, Freudenthal G, Mclaughlin P, Renn J (1991) *Exploring the limits of preclassical mechanics*. Springer, New York
424. Darrigol O (2001) God, waterwheels and molecules: Saint Venant's anticipation of energy conservation. *Hist Stud Phys Biol Sci* 31(2):285–353
425. dell'Isola F, Andreaus U, Placidi L (2013) At the origins and in the vanguard of peri-dynamics, non-local and higher gradient continuum mechanics. An underestimated and still topical contribution of Gabrio Piola. *Mech Math Solids (MMS)* (to appear)
426. De Pace A (1993) *Le matematiche e il mondo*. Francoangeli, Milan
427. De Pace A (2009) *Niccolò Copernico e la fondazione del cosmo eliocentrico*. Mondadori, Milan
428. De Ridder-Symoens H (ed) (1992) *Universities in the Middle Ages*. In: De Ridder-Symoens H, Rugg W (eds) (1992–2011) *A history of the university in Europe* (4 vols). Cambridge University Press, Cambridge
429. Denny M (2003) The efficiency of overshot and undershot waterwheels. *Eur J Phys* 25:193–202
430. Gillispie CC (ed) (1971–1980) *Dictionary of scientific biography*. Scribner, New York
431. *Complete dictionary of scientific biography* (2008) Charles Scribner's Sons, Detroit
432. Dijksterhuis EJ (1956) *Archimedes*. Ejnar Munksgaard, Copenhagen
433. Dijksterhuis EJ (1961) *The mechanization of the world picture (De Mechanisering van het Wereldbeeld, 1950)* (trans: Dikshoorn C). Oxford University Press, New York
434. Ghisalberti AM (1960–) *Dizionario biografico degli italiani*. Istituto della enciclopedia italiana, Roma
435. Dolby RGA (1966) A note on Dijksterhuis' criticism of Newton's axiomatization of mechanics. *Isis* 57(1):108–115
436. Drabkin IE (1938) Notes on the laws of motion in Aristotle. *Am J Philology* 59:60–84
437. Drabkin IE (1964) Two versions of G.B. Benedetti *Demonstratio proportionum motuum localium*. *Isis* 54:259–262
438. Drago A (1990) Le lien entre mathématique et physique dans la mécanique de Lazare Carnot. In: Charnay JP (ed) *Lazare Carnot. Université Paris-Sorbonne, Paris, Le savant-citoyen*, pp 501–515
439. Drago A (1991) *Le due opzioni*. La Meridiana, Molfetta

440. Drago A (1997) La nascita del principio d'inerzia in Cavalieri e Torricelli secondo la matematica elementare di Weyl. XVII Congresso SISFA, Como (not numbered pages)
441. Drake S, Drabkin IE (1969) *Mechanics in sixteenth-century Italy*. University of Wisconsin Press, Madison
442. Drake S (1973) Galileo's experimental confirmation of horizontal inertia: unpublished manuscripts (Galileo gleanings XII). *Isis* 64(3):290–305
443. Drake S (1975) Impetus theory reappraised. *J Hist Ideas* 36(1):27–46
444. Drake S (1978) *Galileo at work*. University of Chicago Press, Chicago (His scientific biography)
445. Drake S (2000) *Two new sciences*. Wall, Emerson, Toronto
446. Dubarle D (1955) La théorie du centre d'oscillation et la conservation des forces vives. *Revue des Questions Scientifiques* 16:352–378
447. Duchesneau F (1994) *La dynamique de Leibniz*. Vrin, Paris
448. Ducheyne S (2006) Galileo's interventionist notion of 'cause'. *J Hist Ideas* 67(3):443–464
449. Ducheyne S (2009) Understanding (in) Newton's argument for universal gravitation. *J Gen Philos Science/Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* 40(2):227–258
450. Dugas R (1950) *Historie de la mécanique*. Griffon, Neuchatel
451. Dugas R (1954) *La mécanique au XVII siècle*. Dunod, Paris
452. Duhem P (1905–1906) *Les origines de la statique* (2 vols). Hermann, Paris
453. Duhem P (1905) *L'évolution de la mécanique*. Hermann, Paris
454. Duhem P (1906–1913) *Études sur Leonard de Vinci Paris* (3 vols). Hermann, Paris
455. Duhem P (1913–1959) *Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (10 vols). Hermann, Paris
456. Echeverria VI (2010) La división del aire en los Quesiti et inventioni diverse (1546) de Niccolò Tartaglia. *Dynamis* 30:197–212
457. Ekholm KJ (2010) Tartaglia's ragioni: a maestro d'abaco's mixed approach to the bombardier's problem. *Br J Hist Sci* 43(2):181–207
458. Elazar M (2011) Honoré Fabri and the concept of impetus: a bridge between conceptual frameworks. Springer, Dordrecht
459. Elzinga A (1972) Huygens theory of research and Descartes' theory of knowledge. Part I. *J Gen Philos Sci* 2(2):174–194. Part II. *Idem* 3(1):9–27
460. Esposito S, Schettino E (2012) Spreading scientific philosophies with instruments: the case of Atwood's machine. e-Print: [arXiv:physics.hist-ph/1204.2984](https://arxiv.org/abs/physics.hist-ph/1204.2984) [physics.hist-ph]
461. Favaro A (1900) *Due lettere inedite di Guidobaldo del Monte a Giacomo Contarini*. Ferrari C, Venice
462. Fibonacci (2005) Leonardo Fibonacci. *Matematica e Società nel Mediterraneo nel secolo XIII* (2 vols). *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche* 23/2 (2003) and 24/1 (2004)
463. Finocchiaro MA (1976) Galileo and the philosophy of science. *Proceedings of the Biennial meeting of the philosophy of science association* 1:130–139
464. Focé F (1995) The theory of elasticity between molecular and continuum approach in the XIX century. In: Radelet de Grave P, Benvenuto E (eds) *Entre mécanique et architecture*. Birkhäuser, Basel
465. Fonteneau Y, Viard J (2013) Travail, force vive et fatigue dans l'oeuvre de Daniel Bernoulli: vers l'optimisation du fait biologique (1738–1753). *Physis* (to appear)
466. Fox R (1974) The rise and fall of Laplacian physics. *Hist Stud Phys Sci* 4:89–146
467. Franco AB (2003) Avempace, projectile motion, and impetus theory. *J Hist Ideas* 64(4):521–546
468. Franklin A (1977) Stillman Drake's 'Impetus theory reappraised'. *J Hist Ideas* 38(2):307–315
469. Fraser CG (1983) J.L. Lagrange's early contribution to the principles and methodus of mechanics. *Arch Hist Exact Sci* 28:197–241
470. Fraser CG (1985) D'Alembert's principle: the original foundation and application in J. d'Alembert's *Traité de dynamique* (1743). *Centaurus* 28:31–61
471. Fraser CG (1997) *Calculus and analytical mechanics in the age of Enlightenment*. Variorum

472. Fredette R (2001) Galileo's *De motu antiquiora*: notes for a reappraisal. Max Planck Institute for the History of Science, Preprint 164, Berlin
473. Furley DJ (1976) Aristotle and the atomists on motion in a void. In: Machamer PK, Turnbull RG (eds) *Motion and time, space and matter*. Ohio State University Press, Columbus, pp 83–100
474. Gabbey A (1990) The case of mechanics: one revolution or many. In: Lindberg DC, Westman RS (eds) *Reappraisal of the scientific revolution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 502–513
475. Gallavotti G (1983) *The elements of mechanics*. Springer, New York
476. Galletto D (1991) Lagrange e le origini della Mécanique analytique. *Giornale di Fisica* 32:84–126
477. Galluzzi P (1979) *Momento*. Ateneo e Bizzarri, Roma
478. Galluzzi P (1993) Gassendi e l'affaire Galilée delle leggi del moto. *Giornale Critico della Filosofia Italiana* 72:86–119
479. Galluzzi P (2001) Gassendi and l'Affaire Galilée of the laws of motion. *Sci Context* 14:239–275
480. Galluzzi P, Torrini M (1975–1984) (eds) *Le opere dei discepoli di Galileo Galilei Carteggio*. Giunti-Barbera, Florence
481. Garin E (1993) *L'umanesimo Italiano*. Laterza, Bari
482. Garin E (2008) *L'uomo del Rinascimento*. Laterza, Bari
483. Garber D (1992) *Descartes' metaphysical physics*. The University of Chicago Press, Chicago
484. Garber D (2001) *Descartes embodied*. Cambridge University Press, Cambridge
485. Garber D (2009) *Leibniz: body, substance, monad*. Oxford University Press, Oxford
486. Garber D (2011) *Materia, force and corporeal substances in Leibniz's philosophy*. *Colloquio Internazionale*, Roma 2010. *Lessico Intellettuale Europeo*. Olschki, Florence, pp 409–421
487. Gaukroger S (2002) *Descartes' system of natural philosophy*. Cambridge University Press, New York
488. Geymonat L (1972–1976) (ed) *Storia del pensiero filosofico e scientifico* (9 vols). Garzanti, Milan
489. Giardina GR (2003) *Erone di Alessandria. Le radici filosofico-matematiche della tecnologia applicata*, CUECM, Catania
490. Giardina A, Sabbatucci G, Vidotto V (2010) *Nuovi profili storici*. Laterza, Bari
491. Gille B (1964) *Les ingénieurs de la Renaissance*. Hermann, Paris
492. Gillispie CC (1971) *Lazare Carnot Savant*. Princeton University Press, Princeton
493. Giusti E (1998) Elements for the relative chronology of Galilei's *De motu antiquiora*. *Nuncius* 13(2):429–460
494. Giusti E, Petti R (eds) (2002) *Un ponte sul Mediterraneo: Leonardo Pisano, la scienza araba e la rinascita della matematica*. Edizioni Polistampa, Florence
495. Goddu A (2001) The impact of Ockham's reading of the 'Physics' on the Mertonians and Parisians terminists. *Early Sci Med* 6(3):204–237
496. Goldstine HH (1980) *A history of the calculus of variations from the 17th through the 19th century*. Springer, New York
497. Grant E (1965) Aristotle, Philoponus, Avempace, and Galileo's Pisan dynamics. *Centaurus* 11:79–95
498. Grant E, Murdoch JE (eds) (1987) *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages*. Cambridge University Press, Cambridge
499. Grant E (1996) *The foundations of modern science in the Middle Ages: their religious, institutional, and intellectual contexts*. Cambridge University Press, Cambridge
500. Grattan-Guinness I (1990) *Convolution in French mathematics, 1800–1840* (3 vols). Birkhäuser, Basel
501. Grattan-Guinness I (2005) The 'Ecole polytechnique', 1794–1850: differences over educational purpose and teaching practice. *Am Math Monthly* 112(3):233–250
502. Grendler PF (2002) *The universities of the Italian Renaissance*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore

503. Guicciardini N (1995) Johann Bernoulli, John Keill and the inverse problem of central forces. *Ann Sci* 52(6):537–575
504. Guicciardini N (1999) *Reading the principia*. Cambridge University Press, Cambridge
505. Guicciardini N (2004) Dot-age: Newton's mathematical legacy in the eighteenth century. *Early Sci Med* 9(3):218–256
506. Gutas D (1998) *Greek thought. Arabic culture*, Routledge, London
507. Hachette JNP (1811) *Traité élémentaire des machines*. Klostermann, Saint-Pétersbourg
508. Hall AR (1952) *Ballistics in the seventeenth century*. Cambridge UP, Birmingham
509. Hall AR (1961) Engineering and the scientific revolution. *Technol Cult* 2:333–341
510. Hall AR (1966) Mechanics and the royal society, 1668–1670. *Br J Hist Sci* 3(1):24–38
511. Hankins TL (1965) Eighteenth-century attempts to resolve the vis viva controversy. *Isis* 56(3):281–297
512. Hankins TL (1967) The reception of Newton's second law of motion in the eighteenth century. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 20:43–65
513. Hankins TL (1970) *Jean D'Alembert. Science and the Enlightenment*, Clarendon, Oxford
514. Hanson NR (1963) The law of inertia: a philosopher's touchstone. *Philos Sci* 30(2):185–199
515. Hartz GA (1992) Leibniz's phenomenalism. *Philos Rev* 101(3):511–549
516. Heimann PM, McGuire JE (1971) Cavendish and the vis viva Controversy: a Leibnizian postscript. *Isis* 62(2):225–227
517. Helbing MO (1989) *La filosofia di Francesco Buonamici*. Nistri-Lischi, Pisa
518. Henninger-Voss MJ (2000) Working machines and noble mechanics: Guidobaldo del Monte and the translation of knowledge. *Isis* 91(2):233–259
519. Henninger-Voss MJ (2002) How the 'New science' of cannons shook up the Aristotelian cosmos. *Hist Ideas* 63(3):371–397
520. Hess MB (1961) *Forces and fields*. Nelson T, Edimburgh
521. Høyrup J (1988) Jordanus de Nemore, 13th century mathematical innovator: an essay on intellectual con-text, achievement, and failure. *Arch Hist Exact Sci* 38:307–363
522. Høyrup J (1994) *In measure, number, and weight: studies in mathematics and culture*. State University of New York Press, New York
523. Hunter M (1981) *Science and society in restoration England*. Cambridge University Press, Cambridge
524. Iqbal M (2007) *Science and Islam*. Greenwood, Westport (USA)
525. Jammer M (1957) *Concept of force: a study in the foundations of dynamics*. Harvard University Press, Cambridge
526. Jammer M (1961) *Concept of mass in classical and modern physics*. Harvard University Press, Cambridge
527. Jouguet E (1908) *Lectures de mécanique: la mécanique enseignée par les auteurs originaux*. Gauthier-Villar, Paris
528. Jourdain PEB (1912) Maupertuis and the principle of least action. *The Monist* 22(3):414–459
529. Kensten H (1945) *Copernicus and his world* (trans: Ashton E, Guterman N). Secker & Warburg, New York
530. Kerker M (1961) Science and the steam engine. *Technol Cult* 2(4):381–390
531. Kline M (1972) *Mathematical thought from ancient to modern times*. Oxford University Press, Oxford
532. Knox D (2005) Copernicus's doctrine of gravity and the natural circular motion of the elements. *J Warburg Courtauld Inst* 68:157–211
533. Koetsier T (2007) Lazare Carnot's theory of machines and the background of Ampère's introduction of the word kinematics. In: *Proceeding of the 13th national conference on mechanism and machines*, Bangalore (India), pp 29–35
534. Kohlrausch F, Loomis FE (1870) Ueber die Elasticität des Eisens, Kupfers und Messings, insbesondere ihre Abhängigkeit von der Temperatur. *Annalen der Physik und Chemie* 141:481–503
535. Koyré A (1943) Galileo and Plato. *J Hist Ideas* 4(4):400–428
536. Koyré A (1952) An unpublished letter of Robert Hooke to Isaac Newton. *Isis* 43:312–337

537. Koyré A (1955) A documentary history of the problem of fall from Kepler to Newton: De motu gravium naturaliter cadentium in hypothesi terrae motae. *Trans Am Philos Soc (New series)* 45(4):329–395
538. Koyré A (1957) From the closed world to the infinite universe. The Johns Hopkins Press, Baltimore
539. Koyré A (1960) La dynamique de Nicolò Tartaglia (1957). La science au seizième siècle. Colloque international de Royaumont, Paris, pp 91–116
540. Koyré A (1960) Newtonian studies. Harvard University Press, Cambridge Massachusetts
541. Koyré A (1961) La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli. Hermann, Paris
542. Koyré A (1996) Études galiléennes. Hermann, Paris
543. Kraft F (1970) Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik. Franz Steiner, Wiesbaden
544. Kristeller PO, Michael M (1979) Renaissance thought and its sources. Columbia University Press, New York
545. Kuhn TS (1957) The Copernican revolution: planetary astronomy in the development of western thought. Harvard University Press, Cambridge-Massachusetts
546. Kuhn TS (1958) The caloric theory of adiabatic compression. *Isis* 49(2):132–140
547. Kuhn T (1959) Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In: Clagett M (ed) Critical problems in the history of science. University Wisconsin Press, Madison, pp 321–356
548. Kuhn TS (1962) The structure of scientific revolution. The University of Chicago Press, Chicago
549. Kuhn TS (1977) The essential tension: selected studies in scientific tradition and change. The University of Chicago Press, Chicago
550. Laird WR (1983) The scientiae mediae in Medieval commentaries on Aristotle's Posterior analytics. PhD dissertation, University of Toronto
551. Laird WR (1986) The scope of Renaissance mechanics. *Osiris* 2(2):43–68
552. Laird WR (1991) Archimedes among the humanists. *Isis* 82(4):628–638
553. Laird WR (2000) The unfinished mechanics of Giuseppe Moletti. University of Toronto Press, Toronto
554. Lanczos C (1977) The variational principles of mechanics. University of Toronto press, Toronto
555. Landau LD, Lifshitz EM (1960) Mechanics (trans English: Sykes JB, Bell JS). Pergamon, London
556. Lanz JM, Betancourt A (1808) Essai sur la composition des machines. Imprimerie imperial, Paris
557. Laudan LL (1968) The vis viva controversy, a post-mortem. *Isis* 59(2):130–143
558. Le Goff J (1996) Les traits originaux de l'identité européenne. In: Histoire du Développement Scientifique et Culturel de l'Humanité. Editions UNESCO, Paris
559. Lee RA (2003) Tracing the logic of force: Roger Bacon's De multiplicatione specierum. *Epoché* 8(1):103–120
560. Lennox JG (1985) Aristotle, Galileo and the mixed sciences. In: Wallace W (ed) Reinterpreting Galileo. The Catholic University of America Press, Washington D.C., pp 29–51
561. Libri G (1838–1841) Histoire des sciences mathématique in Italie, depuis la renaissance des lettres jusqu'à la fin du dix-septième siècle (4 vols). Renouard et Cie, Paris
562. Lindberg DC (1987) Roger Bacon and the origin of perspective. In: Grant E, Murdoch JE (eds) Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages. Cambridge University Press, Cambridge, pp 249–268
563. Maccagni C (1967) Le speculazioni giovanili 'de motu' di Giovanni Battista Benedetti. Domus Galileana, Pisa
564. Mach E (1883) Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Brockhaus FA, Leipzig
565. Mach E (1911) History and root of the principle of the conservation of energy (trans: Jourdain PEB). The Open Court Publishing, Chicago

566. Mach E (1919) *The science of mechanics: a critical and historical account of its development (1883)* (trans: McCormack TJ). Open Court Publishing, Chicago
567. Machamer P (1978) Galileo and the causes. In: Butts RE, Pitt JC (eds) *New perspectives*. Reidel Publish Company, Dordrecht, pp 161–180
568. Machamer P (1978) Aristotle on natural place and natural motion. *Isis* 69(248):377–387
569. Machamer P (1978) Galileo's machines, his mathematics, and his experiments. In: Machamer P (ed) *The Cambridge companion to Galileo*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 53–79
570. MacTutor history of mathematics archive (The). <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/index.html>
571. Maier A (1952) *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft: die Struktur der materiellen Substanz, das Problem der Gravitation, die Mathematik Formlatituden*. Edizioni di Storia e Letteratura, Rome
572. Maltese G (1992) *La storia di $F = ma$* . Olschki, Florence
573. Maltese G (1996) *Introduzione alla storia della dinamica nei secoli XVII e XVIII*. Accademia Ligure di Scienze e Lettere, Genoa
574. Maltese G (2000) On the relativity of motion in Leonhard Euer's science. *Arch Hist Exact Sci* 54:319–348
575. Marcolongo R (1937) *Studi vinciani. Memorie sulla geometria e la meccanica di Leonardo da Vinci*. Stabilimento Industrie Editoriali Meridionali, Naples
576. Masotti A (1962) *Studi su Niccolò Tartaglia*. Brescia [s.n.]
577. Matthews MR (2000) *Time for science education*. Kluwer Academic, New York
578. Maxwell Clerk J (1920) *Matter and motion (1877)*. McMillan, New York
579. Mazzotti M (2004) Newton for ladies: gentility, gender and radical culture. *Br J Hist Sci* 37(2):119–146
580. McGuire JE (1970) Newton's second law and the concept of force in the Principia. In: Palter R (ed) *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton, 1666–1966*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 186–190
581. McMullin E (1983) Prelude to Galileo by William A. Wallace. *Philosophy of Science* 50(1):171–173
582. McMullin E (2011) Kepler: moving the earth. *J Int Soc Hist Philos Science* 1(1):3–22
583. Merton RK (1970) *Science, technology and society in seventeenth century England*. Harper & Row, New York
584. Moody EA, Clagett M (1952) *The medieval science of weights*. University of Wisconsin Press, Madison
585. Moscovici S (1967) *L'expérience du mouvement. Jean-Baptiste Baliani disciple et critique de Galilée*, Hermann, Paris
586. Mugnai M (2001) *Introduzione alla filosofia di Leibniz*. Einaudi, Turin
587. Müller G, Kauppert K (2004) Performance characteristics of water wheels. *J Hydraul Res* 42(5):451–460
588. Musson AE, Robinson E (1969) *Science and technology in the industrial revolution*. University Press of Manchester, Manchester
589. Nagel E (1961) *The structure of science*. Harcourt, Brace & World, New York
590. Napolitani PD (2007) L'Italia del Rinascimento. In: Bartocci C, Odifreddi P (eds) (2007) *La matematica (4 vols)*. Einaudi, Turin, vol 1 (I luoghi e i tempi), pp 237–281
591. Naylor RH (1974) Galileo and the problems of free fall. *Br J Hist Sci* 7(2):105–134
592. Naylor RH (1974) Galileo's theory of projectile motion. *Isis* 71(4):550–570
593. Neugerbauer O (1975) *A history of ancient mathematical astronomy (3 vols)*. Springer, Berlin
594. Noll W (1959) The foundation of classical mechanics in the light of recent advances in continuum mechanics (1957–1958). In: *Proceedings of an international symposium on the axiomatic method*. University of California, Berkeley, pp 265–281
595. Noll W (2004) Five contributions to natural philosophy. Posted on the website <http://www.math.cmu.edu/wn0g/noll>

596. Olschki L (1965) *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur* (3 vols) (1919–1927). Kraus Reprint Ltd, Vaduz
597. Ostwald W (1895) La déroutée de l'atomisme contemporain. *Revue Générale des Sciences Pure et Appliquées* 21:953–985
598. Outrem D (1995) *The enlightenment*. Cambridge University Press, Cambridge
599. Palmerino R (1999) Infinite degrees of speed: Marin Mersenne and the debate over Galileo's law of free fall. *Early Sci Med* 4(4):269–328
600. Papanelopoulou F (2006) Gustave-Adolphe Hirn (1815–1890): Engineering thermodynamics in mid-nineteenth century France. *Br J Hist Sci* 39(2):231–254
601. Pisano R (2008) *Il ruolo della scienza meccanica nella progettazione degli architetti degli ingegneri del Rinascimento* (2 vols). PhD dissertation, Università di Roma La Sapienza
602. Pisano R, Capecchi D (2009) *La théorie analytique de la chaleur*. Notes on Fourier and Lamé. *Sabix* 44:87–93
603. Pisano R, Capecchi D (2010) Galileo Galilei: notes on *Trattato di Fortificazione*. In: Altamore A, Antonini G (eds) *Galileo and the Renaissance scientific discourse*. Nuova Cultura, Rome, pp 28–41
604. Poggi S (2000) *Il genio e l'unità della natura. La scienza della Germania romantica (1790–1830)*. Il Mulino, Bologna
605. Poincaré H (1968) *La science et l'hypothèse*. Flammarion, Paris
606. Popper K (1959) *The logic of scientific discovery*. Hutchinson, London
607. Pourciau BH (1991) On Newton's proof that the inverse-square orbits must be conics. *Ann Sci* 48:159–172
608. Pourciau BH (2006) Newton's interpretation of Newton's second law. *Arch Hist Exact Sci* 60:157–207
609. Rashdall H (1895) *The universities of Europe in the Middle Ages* (2 vols). Clarendon Press, Oxford
610. Renn J, Damerow P (2010) *Guidobaldo del Monte's Mechanicorum liber*. Max Planck research library for the history and development of knowledge (edition open access)
611. Rey A (1907) *La théorie de la physique chez les physiciens contemporains*. Alcan F, Paris
612. Reynolds TS (1979) Scientific influences on technology: the case of the overshot waterwheel, 1752–1754. *Technol Cult* 20(2):270–295
613. Roberts JT (2003) Leibniz on force and absolute motion. *Philos Sci* 70(3):553–573
614. Roderik WH (1968) The third law in Newton's mechanics. *Br J Hist Sci* 4(1):39–51
615. Rose PL (1968) Galileo's theory of ballistics. *Br J Hist Sci* 4(2):156–159
616. Rose PL (1973) Humanist culture and Renaissance mathematics: the Italian libraries of the Quattrocento. *Stud Renaissance* 20:46–105
617. Rose PL (1975) *The Italian renaissance of mathematics*. Droz, Geneva
618. Ross WD (1959) *Aristotle*. Meridian, Cleveland
619. Rüegg W (ed) (2004) *Universities in the nineteenth and early twentieth centuries*. In: De Ridder-Symoens H, Rüegg W (eds) (1992–2011) *A history of the university in Europe* (4 vols). Cambridge University Press, Cambridge
620. Russel JL (1964) Kepler's laws of planetary motion: 1609–1666. *Br J Hist Sci* 2(1):1–24
621. Russel B (1900) *A critical exposition of the philosophy of Leibniz*. Cambridge University Press, Cambridge
622. Russo L (2004) *The forgotten revolution* (1996). Springer, Berlin
623. Sarnowsky J (2008) Concept of impetus and the theory of mechanics. In: Laird WR, Roux S (eds) *Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution*. Springer, Dordrecht
624. Schemmel M (2008) *The English Galileo: Thomas Harriot's work on motion as an example or preclassical mechanics* (2 vols). Springer, Dordrecht
625. Schiefsky MJ (2007) Theory and practice in Heron's mechanics. In: Laird WR, Roux S (eds) (2007) *Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution*. Boston studies in the philosophy of science, vol 254. Springer, New York
626. Schlote KH (2013) The emergence of mathematical physics at the university of Leipzig. In: Barbin E, Pisano R (eds) *The dialectic relation between physics and mathematics in the XIXth century*. Springer, Dordrecht

627. Schmitt CB (1969) Experience and experiment: a comparison of Zabarella's views with Galileo's *De motu*. *Stud Renaissance* 16:80–138
628. Schmitt CB (1972) The faculty of arts at Pisa at the time of Galileo. *Physis* 14:243–72
629. Scott WL (1970) *The conflict between atomism and conservation theory, 1644–1860*. Elsevier, New York
630. Settle TB (1971) Ostilio Ricci a bridge between Alberti and Galileo. In: Rostand J, Canguilhem G, Taton R (eds) *XII Congrès International d'Histoire des Sciences (1968) Science et philosophie. XVII et XVIII siècles, Tome III-B*. Blanchard, Paris, pp 121–126
631. Setton KM (1956) The Byzantine background to the Italian Renaissance. *Proc Am Philos Soc* 100(1):1–76
632. Shapiro AE (2004) Newton's experimental philosophy. *Early Sci Med* 9(3):185–217
633. Shepherd WR (1923) *Historical atlas*. Henry Holt and Company, New York
634. Simon HA (1947) The axioms of Newtonian mechanics. *Philos Mag* 33:888–905
635. Singer C et al (1954–1978) *A history of technology (5 vols)*. Clarendon Press, Oxford
636. Slowik E (1996) Perfect solidity: natural laws and the problem of matter in Descartes' universe. *Hist Philos Q* 13(2):187–202
637. Snelders HAM (1970) Romanticism and naturphilosophie and the inorganic natural sciences 1797–1840: an introductory survey. *Stud Romanticism* 9(3):193–215
638. Speiser D (1996) The Kepler problem from Newton to Johann Bernoulli. *Arch Hist Exact Sci* 50(2):103–116
639. Storck J, Teague W (1952) *Flour for man's bread: a history of milling*. University of Minnesota Press, Minneapolis
640. Struik DJ (1981) *The land of Stevin and Huygens*. Reidel D, London
641. Suisky D (2009) *Euler as physicist*. Springer, Berlin-Heidelberg
642. Sylla ED (2009) John Buridan and critical realism. *Early Sci Med* 14:211–247
643. Sylla ED (2010) The Oxford calculator's middle degree theorem in context and critical realism. *Early Sci Med* 15:338–370
644. Syson L (1980) *The watermills of Britain*. David, Charles, London
645. Tarantino P (2012) La trattazione aristotelica delle scienze subordinate negli Analitici secondi. *Rivista di Storia della Filosofia* 3:445–469
646. Tazzioli R (2001) Green's function in some contributions of 19th century mathematicians. *Historia Mathematica* 28:232–252
647. Tenenti A (1990) Les hommes et leurs cités. In: Bec C, Choulas I, Jestaz B, Tenenti A (eds) *L'Italie de la Renaissance. Un monde en mutation (1378–1494)*. Fayard A, Paris
648. Thijssen JMMH (2004) The Buridan school reassessed. *John Buridan and Albert of Saxony*. *Vivarium* 42(1):18–42
649. Thijssen JMMH (2009) The debate over the nature of motion: John Buridan, Nicole Oresme and Albert of Saxony. With an edition of John Buridan's *Quaestiones super libros physicorum, secundum ultima lecturam, Book III, q. 7*. *Early Sci Med* 14:186–210
650. Thomson W, Tait PG (1867–1883) *Treatise on natural philosophy (2 vols)*. University Press, Cambridge (part 1)
651. Todhunter L (1923–1958) *History of magic and experimental science (8 vols)*. Columbia University Press, New York
652. Thurston RH (1878) *A history of the growth of the steam-engine*. Cornell University Press, New York
653. Tihon A (2009) Les sciences exactes à Byzance. *Byzantion: Revue International des Etudes Byzantines* 79:380–434
654. Todhunter I, Pearson K (1886–1893) *A history of the theory of elasticity and of the strength of materials, from Galileo to the present time (3 vols)*. Cambridge University Press, Cambridge
655. Toneatto L (1982) Note sulla tradizione del *Corpus agrimensurum Romanorum*. I. Contenuti e struttura dell' *Ars gromatica* di Gisemundus (IX sec). *Mélanges de l'École française de Rome. Moyen-Age. Temps modernes* 94(1):191–313
656. Truesdell CA (1960) A program toward rediscovering the rational mechanics of the Age of Reason. *Arch Hist Exact Sci* 1:3–36

657. Truesdell CA (1960) The rational mechanics of flexible or elastic bodies. In: Euler L (1911-) Leonhardi Euleri Opera omnia (in progress). Teubneri GB; [then] Fussli Turici; [then] Birkhäuser, Basel, s 2, vol 11, part 2
658. Truesdell CA (1968) Essay in the history of mechanics. Springer, New York
659. Truesdell CA (1971) A first course in rational continuum mechanics. Academic Press, New York
660. Ulivi E (2002) Scuole e maestri d'abaco in Italia tra Medioevo e Rinascimento. In: Giusti E et al. (eds) Un ponte sul Mediterraneo. Leonardo Pisano, la scienza araba e la rinascita della matematica in occidente, Florence, pp 121–159
661. Valleriani M (ed) (2013) Metallurgy, ballistics and epistemic instruments: the Nova scientia of Nicolò Tartaglia. A new edition (edition open access), Berlin
662. Van Dyck M (2006) An archaeology of Galileo's science. PhD dissertation, Ghent University
663. Vasconcelos JCR (2001) Inertia as a theorem in Galileo's Discorsi. Largo campo di filosofare: Eurosymposium Galileo 2001, La Oratava, pp 293–305
664. Vassura G (ed) (1908) La pubblicazione delle opere di E. Torricelli con alcuni documenti inediti, Stabilimento tipo-lit Montanari G, Faenza
665. Verlet L (1996) 'F = ma' and the Newtonian revolution: an exit from religion through religion. *Hist Sci* 34:303–346
666. Vilain C (2008) Circular and rectilinear motion in the Mechanica and in the 16th century. In: Laird LR, Roux S (eds) Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution. Springer, Dordrecht, pp 149–172
667. Voltaire (1738) *Elémens de la philosophie de Neuton mis à la portée de tout le monde*. Jacques Desbordes, Amsterdam
668. Walker DP (1967) Kepler's celestial music. *J Warburg Courtauld Inst* 30:228–250
669. Wallace WA (1968) The enigma of Domingo de Soto: Uniformiter difformis and falling bodies. *Isis* 59(4):384–401
670. Wallace WA (1971) Mechanics from Bradwardine to Galileo. *J Hist Ideas* 32(1):15–28
671. Wallace WA (1976) Galileo and the reasoning ex suppositione. The methodology of the Two new science. Biennial meeting of the philosophy of science association 1974. Reidel Publishing Company, Dordrecht, pp 79–104
672. Wallace WA (1983) The problem of causality in Galileo's science. *Rev Metaphysics* 36(3):607–632
673. Wallace WA (1988) Randall redivivus: Galileo and the Paduan Aristotelians. *J Hist Ideas* 49(1):133–149
674. Wlasko IJ (1909) *The thirteenth: greatest of centuries*. Catholic Summer School Press, New York
675. Webster C (1975) *The great instauration: science, medicine and reform, 1626–1660*. Duckworth, London
676. Weierstrass K (1895) Über die sogenannte Dirichlet'sche Princip. In: Weierstrass K (1894–1927) *Mathematische Werke* (7 vols). Mayer & Müller, Berlin, vol 2, pp 49–54
677. Weisheipl JA (1965) The principle omne quod movetur ab alio movetur in medieval physics. *Isis* 56(1):26–45
678. Westfall RS (1971) *Force in Newton's time: the science of dynamics in the seventeenth century*. Neal Watson Academic Publications, New York
679. Westfall RS (1980) *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, Cambridge

Author Index

A

Abu Kamil, 37
Adelard of Bath, 37
Al-Fārābī, 46
Al-Khwārizmī, 33, 37, 87
Alberti Leon Battista, 83, 87–90, 102
Albertus de Saxonia, 32, 53, 67, 76, 78, 79, 81, 96, 113, 148, 160
Albertus Magnus, 53, 57, 79
Alcuin of York, 37
Alexander of Aphrodisias, 34, 164
Ampère André Marie, 358, 366
Anassagora, 39
Andrade Jules, 455
Apollonius of Perga, 86, 99, 142
Aquino Tommaso d', 53
Archimedes, 1–3, 46, 50, 86, 89, 121, 138, 168, 171, 227
Archytas of Tarentum, 1, 6, 7
Aristarchus of Samos, 45
Aristarcus of Samos, 125
Aristippus Henry, 33
Aristotle, 1, 33, 34, 36, 38, 40–44, 46, 47, 51, 52, 57, 62, 71, 73, 86, 94, 104, 138, 164, 451
Arnauld Antoine, 292
Arnold Vladimir, 22
Aslachus Conrad, 139
Auguste Bravais, 411
Augustine of Hippo, 91
Averroes, 34, 57, 164
Avicenna, 33, 34

B

Bétancourt Augustin de, 356
Bacon Francis, 226, 433

Bacon Roger, 31, 57, 59, 60, 79, 229
Baggiolini Poggio, 85
Baldi Bernardino, 93, 203
Baliani Giovanni Battista, 72, 131, 177, 180–184, 188, 192, 194, 216
Barbaro Daniele, 88
Baroncelli Giovanna, 178
Barozzi Francesco, 136
Barrow Isaac, 226, 227
Bartolomeo Zamberti, 86
Beeckman Isaac, 131, 160, 180, 183, 200, 202, 221
Belidor Bernard Forest de, 396, 425
Bellarmino Roberto, 87
Bellucci Giovanni Battista, 88
Bembo Piero, 87
Benedetti Giovanni Battista, 4, 84, 90, 93, 96, 97, 112, 127, 128, 160, 168, 174, 451
Bentley Richard, 300, 311
Berkeley George, 311, 352
Bernardino Telesio, 87
Bernoulli Daniel, 8, 304, 313–315, 319, 324, 338, 348, 362, 419, 422, 439
Bernoulli Jakob, 203, 224, 227, 309, 408
Bernoulli Johann, 4, 175, 227, 275, 301, 303, 309, 314, 315, 317, 321, 322, 324, 338, 362, 451
Bertrand Joseph, 347
Bessarione Johannes, 87
Betti Enrico, 17
Biagio Pelacani da Parma, 86, 100
Biot Jean Baptiste, 389
Biringuccio Vannuccio, 88
Black Joseph, 444, 446
Boethius, 37
Bolzano Bernhard, 112

- Borelli Alfonso, 134, 140, 224
 Borro Girolamo, 164, 165
 Boscovich Ruggiero Giuseppe, 304, 401
 Bossut Charles, 355
 Boulton Matthew, 445
 Boyle Robert, 180, 224, 228
 Bradwardine Thomas, 32, 38, 58
 Brahe Tycho, 132, 141, 143, 177
 Bravais Auguste, 407
 Brugmans Anton, 2
 Bruno Giordano, 86, 132, 134, 158, 226
 Buonamici Francesco, 57, 164, 165, 173
 Buonarroti Michelangelo, 90
 Buridan Jean, 32, 53, 54, 62, 65, 69–71, 76, 79, 81, 148, 160, 175
- C**
- Cabeo Niccolò, 134, 178
 Campanella Tommaso, 86, 134, 139
 Cardano Girolamo, 4, 84, 87, 90, 93, 97, 112, 118, 119, 124, 134, 225, 451
 Carnot Lazare, 8, 278, 304, 315, 348, 351, 354, 356, 358, 362, 387, 389, 396, 398, 429, 432
 Carnot Sadi, 446, 454
 Castelli Benedetto, 174
 Catena Pietro, 93, 136
 Cauchy Augustin Louis, 359, 366, 402, 405, 409, 410, 412
 Cavalieri Bonaventura, 132, 134, 156, 157, 200, 227, 284
 Cavendish Charles, 208, 210
 Cayley Arthur, 17
 Cazre Pierre Le, 216
 Cesalpino Andrea, 164
 Chanoine Jean le, 65
 Charles V, 72
 Christian Gérard-Joseph, 396
 Clagett Marshall, 57
 Clairaut Alexis Claude, 304, 331, 333
 Clapeyron Benoît Paul Emile, 387, 414, 439
 Clarke Samuel, 316
 Claude Bordin, 371
 Clausius Robert, 437, 454
 Clebsch Alfred, 398, 406
 Clersefier Claude, 201, 213
 Cohen Bertrand, 257
 Colbert Jean Baptiste, 441
 Colin Maclaurin, 315
 Commandino Federico, 3, 90, 97
 Condillac Etienne, 305
 Contarini Giacomo, 136, 137
- Copernicus Nicolaus, 84, 87, 125–127, 129, 138, 158
 Coriolis Gaspard Gustave, 159, 359, 366, 371, 373–375, 386, 387, 396, 398, 432
 Costabel Pierre, 291
 Costantini Claudio, 178
 Cotes Roger, 224, 244, 310
 Coulomb Charles Augustin, 14, 324, 366, 387
 Crombie Alistar, 57
 Ctesibus of Alexandria, 2, 440
 Cusanus Nicolaus, 84, 86, 226, 301
- D**
- D'Alembert Jean, 8, 301, 304, 314–316, 333, 348, 354, 358, 360, 389, 393, 398, 408
 d'Aquino Tommaso, 43, 57, 79
 da Bagnoregio Bonaventura, 57
 da Vinci Leonardo, v, 45, 84, 88, 90, 112, 203, 451
 dal Monte Guidobaldo, 6, 132, 136–138, 174, 451
 Darboux Gaston, 347
 Davy Humphry, 434
 de Borda Jean Charles, 366, 371, 420, 421, 424, 427–429, 432
 de Careill Foucher, 290
 de Caus Salomon, 225, 440
 de L'Hospital Guillaume Françoise Antoine, 309
 de la Chambre Marin Cureau, 314
 de la Hire Philippe, 224
 de Maupertuis Pierre Louis Moreau, 304
 de Nelli Giovanni Battista Clemente, 166
 de Pace Anna, 136
 de Soto Domingo, 84, 160
 de Vaux Carra, 2
 de Volder Burchard, 284
 de' Marchi Francesco, 88
 de' Vieri Francesco, 164
 della Francesca Piero, 88
 della Mirandola Giovanni Pico, 87
 della Porta Giovanni Battista, 134, 440
 della Rovere Francesco, 87
 Demetrius, 7
 Democritus, 39, 46, 148
 Denis Papin, 441
 Deparcieux Antoine, 425, 426, 429
 Desaguliers John Theophilus, 420, 425
 Descartes René, v, 132, 143, 149, 160, 183, 196–198, 200, 202–208, 210, 212–216, 228–231, 236, 240, 257,

- 291, 292, 297, 299, 300, 316, 352, 451
 di Giorgio Martini Francesco, 45, 88
 di Marchia Francesco, 65
 Dini Ulisse, 17
 Drabkin, 167
 Drago Antonino, 277
 Drake Stillman, 136, 147, 154, 173, 181
 Du Châtelet Émilie, 304
 Duchesneau Françoise, 297
 Dugas René, 285, 374, 375
 Duhamel Jean Marie, 387
 Duhem Pierre, 57, 91, 160, 225, 235, 366, 447
 Dulong Pierre Louis, 434
 Dumbleton John, 38
 Duns Scotus John, 53
 Dupin Pierre Charles François, 389, 396
- E**
 Einstein Albert, 277
 Empedocles, 39
 Epicurus, 39, 148
 Erazmus Ciolek Witelo, 32
 Etienne Tempiere, 36
 Euclid, 1, 33, 47, 50, 51, 86, 91, 92, 95, 171, 179, 236
 Eudoxus, 7
 Euler Leonhard, 203, 304, 308, 309, 313–315, 330, 331, 333, 335, 336, 341, 348, 408, 409, 420, 425, 455
 Ewart Peter, 431
- F**
 Fabri Honoré, 72, 203, 216, 217, 220
 Faraday Michael, 431
 Fausto Vittore, 92
 Favaro Antonio, 166
 Fermat Pierre de, 226, 314
 Ferrari Ludovico, 97, 119
 Fonteneau Yannick, 326
 Fourier Jean Baptiste Joseph, 9, 10, 12, 389
 Fourneyron Benoit, 430
 Francesco Guicciardini, 87
 Fredette Raymond, 166
- G**
 Gabbey Alan, 213
 Galen, 33
 Galilei Galileo, v, vii, 4, 8, 57, 72, 78, 91, 95, 129, 132, 136, 139, 140, 147, 149, 151–154, 156, 159, 160, 162, 164, 168, 169, 172–174, 178, 179, 184, 190–193, 196, 200, 219, 225, 229, 236, 240, 258, 278, 296, 300, 312, 313, 318, 363, 451
 Galilei Vincenzo, 171
 Gallavotti Giovanni, 20
 Gallois Jean, 318
 Galluzzi Paolo, 215
 Gassendi Pierre, 149, 216, 228
 Gaurico Luca, 86
 Gauss Johann Carl Friedrich, 15, 371, 439
 Gerardo da Cremona, 33, 37, 47
 Gerbert d’ Aurillac, 37
 Gerhardt Karl Immanuel, 297
 Gibbs Willard, 454
 Gilbert Ludwig Wilhelm, 371
 Gilbert William, 144, 225, 229
 Giovanni Battista Memo, 86
 Giovanni de’ Bardi, 171
 Girard Pierre Simon, 396
 Giusti Enrico, 166
 Goethe Johann Wolfgang, 370
 Gravesande Willem Jacob Storm ’s, 304, 310, 316, 318
 Green George, 15, 16, 407, 409–411, 439
 Gregorio XIII, 125
 Gregory David, 308
 Grimaldi Francesco, 134
 Grosseteste Robert, 32, 53, 79
 Guericke Otto von, 441
 Guglielmini Domenico, 134
 Gundisalvo Domingo, 47
- H**
 Hachette Jean Nicolas Pierre, 356, 386, 387, 389, 396
 Halley Edmond, 254
 Hamilton William Rowan, v, 366, 371, 376
 Hankins Thomas, 313
 Harriot Thomas, 132, 156
 Harvey William, 87, 225
 Helm Georg, 449, 454
 Helmholtz Hermann von, 371, 431, 437, 438, 454
 Henry Bertot, 414
 Heraclides Ponticus, 76, 125
 Herigone Pierre, 225
 Hermann Jakob, 275, 304, 308, 313
 Hero of Alexandria, 1–3, 7, 86, 440
 Herschel Frederick William, 370
 Hertz Heinrich Rudolf, 366, 455
 Hilbert David, 17

Hipparchus of Nicaea, 45, 63, 65, 78, 156, 169
 Hirn Gustave Adolphe, 431, 437
 Hobbes Thomas, 284
 Holtzmann Karl, 431, 439
 Hooke Robert, 180, 224
 Hultsch Friedrich, 3
 Humboldt Alexander Von, 368
 Hume David, 305
 Hurtado de Mendoza Diego, 94
 Huygens Christiaan, 203, 216, 220, 224, 230,
 233, 236, 240, 241, 244, 255, 257,
 259, 280, 287, 299, 301, 312–314,
 318, 320, 321, 363, 441, 442
 Huygens Constatijn, 203
 Høyrup Jens, 89

I

Isidore of Seville, 91

J

Jackson David, 3
 Jacobi Carl Gustav Jacob, v, 371, 385
 Jakob Bernoulli, 314, 363
 Jammer Max, 268
 John of Halifax, 32
 Jordanus de Nemore, 4, 32, 37, 47, 48, 50, 92,
 117, 174
 Joule James Prescott, 366, 431, 434, 454

K

Kant Immanuel, 370
 Keill John, 275
 Kepler Johannes, 8, 129, 132, 133, 139,
 141–143, 146, 147, 283
 Kirchhoff Gustav Robert Georg, 366
 Koyré Alexandre, 91, 147, 149, 226
 Kuhn Thomas, 8, 157, 432

L

Lagrange Joseph Louis, v, 4, 212, 304, 312,
 315, 333, 342, 376, 392, 396, 408,
 409, 439, 451
 Laird Roy, 93
 Lamé Gabriel, 10, 15, 366, 387, 406
 Lanz José Maria, 356
 Laplace Pierre Simon, 14, 15, 341, 366, 368,
 401
 Latour Charles Cagniard de, 389
 Le Cazre Pierre, 216
 Le Tenneur Jacques Alexandre, 216, 219

Leblanc Richard, 225
 Leibniz Gottfried Wilhelm, 147, 175, 224,
 227, 228, 235, 240, 254, 279–292,
 294–297, 299, 301, 307–309,
 314–319, 321, 360, 363, 432, 452
 Leonico Tomeo Niccolò, 92, 99
 Lincoln Robert of, 72
 Lipschitz Rudolf Otto Sigismund, 17
 Loria Gino, 166
 Luria Salomon, 39
 Lydiat Thomas, 139

M

Mach Ernst, 276, 312, 447
 Machiavelli Niccolò, 90
 Maclaurin Colin, 304, 308, 317, 331, 420
 Madame de Pompadour, 425
 Malebranche Nicolas de, 352
 Malpighi Marcello, 134
 Maltese Giulio, 313
 Mariano di Jacopo, 88
 Mariotte Edme, 224, 284, 416
 Marsili Cesare, 156
 Marsilio Ficino, 90
 Marsilus von Inghen, 66
 Mathieu Emil, 13
 Mathieu Emile, 14
 Maupertuis Pierre Louis Moreau de, 258, 314,
 339
 Maurolico Francesco, 84, 93
 Maxwell Clerk James, 268, 312, 366
 Mayer Julius Robert, 366, 371, 431, 452
 Mazzoni Jacopo, 136, 164
 McGuire James, 257
 Memo Giovanni Battista, 99
 Mendoza Diego Hurtado de, 95
 Menut Albert Douglas, 73
 Mersenne Marin, 132, 180, 203, 205, 216, 220,
 225
 Middleton Richard of, 57
 Miller Jutta, 2
 Moerbeke Willem van, 34, 48, 90
 Moletti Giuseppe, 84, 93, 136
 Monge Gaspard, 355, 358, 367, 386, 388
 More Henry, 200
 Morin Arthur Jules, 429
 Moscovici Serge, 180, 181
 Moseley Henry, 391
 Murphy Robert, 15
 Musschenbroek Peter van, 310

N

- Navier Claude Louis, 367, 386, 396, 405, 408, 412, 439
 Naylor Ronald, 154
 Neumann Carl Gottfried, 13, 17
 Neumann Franz Ernst, 17
 Newcomen Thomas, 442
 Newton Isaac, 4, 8, 148, 149, 151, 182, 223, 224, 226–228, 230, 235, 240, 243, 244, 246–269, 272, 274, 275, 277–279, 284, 286, 288, 290, 300, 307–309, 311–314, 317, 328–330, 352, 363, 376, 401, 433
 Niepce Joseph Nicéphore, 389
 Nollet Jean-Antoine, 310

O

- Ockham William, 57, 79
 Oersted Hans Christian, 370
 Oresme Nicole, 32, 38, 72, 73, 76, 77, 79, 81, 148, 158, 160
 Ostwald Friedrich Wilhelm, 367, 447, 450–452
 Ostwald Wilhelm, 449

P

- Pacioli Luca, 84, 86, 89, 90
 Palmerino Carla Rita, 216
 Paolo da Venezia, 53
 Papin Denis, 443
 Pappus of Alexandria, 3, 6, 86
 Parent Antoine, 416, 418, 419, 424, 429
 Pascal Blaise, 180, 224
 Patrizi Fabrizio, 139
 Pearson Karl, 412
 Pemberton Henry, 310
 Pereyra Benito, 136
 Petit Alexis Thérèse, 387
 Peurbach Georg, 125, 141
 Philo of Byzantium, 2, 440
 Philoponus Johannes, 34, 45, 63–65, 164
 Piccolomini Alessandro, 135, 136
 Piola Gabrio, 9, 12, 402
 Pisano Leonardo, 32, 37, 87
 Plato, 7, 33, 38, 39, 41, 46, 57, 86, 89, 100, 126
 Pogendorff Johann Christian, 371, 452
 Poincaré Jules Henri, 16, 276, 367, 447
 Poinot Louis, 393
 Poisson Siméon Denis, 15, 367, 387, 389, 393, 405, 412
 Poncelet Jean Victor, 367, 386, 387, 390, 429, 431, 432
 Potter Humphrey, 443

Proclus, 86

- Prony Gaspard Clair François Marie Riche de, 389, 396
 Ptolemy, 33, 45, 86, 125, 127, 136, 143
 Pythagoras, 89

Q

- Qusta ibn Luka, 2

R

- Rankine William John Macquorn, 440, 449, 454
 Reech Ferdinand, 455
 Regiomontanus, 84, 86, 89, 125
 Renieri Vincenzo, 180
 Rey Abel, 455
 Riccati Vincenzo, 305
 Ricci Michelangelo, 174
 Ricci Ostilio, 171
 Riccioli Giovanni Battista, 134
 Ritter Johann Wilhelm, 370
 Robert of Chester, 37
 Roberval Gilles Personne de, 132, 180, 203, 210, 211, 213, 225, 226
 Robinson John, 446
 Roder of Erfurt Christian, 87
 Romano Egidio, 53
 Rudolph II, 141
 Russel Bertrand, 280
 Russo Lucio, 45

S

- Séguin Mark, 431
 Sacrobosco, 37
 Saint Venant Adhémar Jean Claude Barré, 367, 387, 406, 411
 Sarpi Paolo, 87, 161, 162
 Savery Thomas, 442
 Scaligero Giulio Cesare, 143
 Schwarz Karl Hermann Amandus, 16
 Scott Joseph Frederik, 235
 Scott Wilson, 317, 431
 Segner Jan Andrej, 336
 Seguin Marc, 447
 Serret Joseph Alfred, 347
 Sforza Francesco, 88
 Shapere Dudley, 173
 Shelling Friedrich Wilhelm Joseph, 370
 Simplicius, 34, 164
 Sixto IV, 87
 Slowik Edward, 198

Smeaton John, 386, 396, 419, 423, 425, 426,
429, 432, 443
Steffens Henrik, 370
Stephenson George, 447
Stevin Simon, v, vii, 3, 133, 225
Stirling James, 308
Sturm Jacques Charles Franèois, 359
Swineshead Richard, 38
Synesius, 63

T

Tait Peter Guthrie, 278, 312, 440
Tartaglia Niccolò, v, 4, 83, 84, 86, 90, 93–95,
97, 102, 108, 111, 112, 117, 119,
124, 127, 128, 136, 137, 171, 174
Tasso Torquato, 87
Taylor Brook, 308
Telesio Bernardino, 86, 134, 139
Thābit ibn Qurra al-Ḥarrānī, 32, 50
Themistius, 34, 164
Themon Judes, 66
Thomson William, 16, 278, 312, 367, 440, 454
Todhunter Isaac, 412
Tomeo Leonico Niccolò, 94
Tommaso Campanella, 87
Tommaso d'Aquino, 32, 36, 64, 65, 182
Torricelli Evangelista, 133, 134, 156, 157, 172,
174, 175, 177, 216, 220, 451

Toscanelli Paolo, 87
Trevithick Richard, 447
Truesdell Clifford Ambrose, 19, 24, 26, 28, 29,
265, 313

V

Valla Giorgio, 86
Van Gool Jacob, 2
Varignon Pierre, 3, 224, 308, 309
Viviani Vincenzo, 133, 162, 180
Voigt Woldemar, 412

W

Wallis John, 4, 224, 227, 230, 235, 237, 324
Watt James, 367, 444
Webster Charles, 226
Weisheipl James, 41
Wertheim Guillaume, 405
Westfall Richard, 235, 243, 246
Weyl Hermann, 158
Witelo Erazmus Ciolek, 32
Wollaston William, 431
Wren Christopher, 225, 230, 231

Y

Young Thomas, 439