

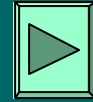
Fabien Chareix  
University of Paris IV  
[www.chareix.net](http://www.chareix.net)

ESA 2004

# Huygens and Mechanics



# (1) Achievements



## Huygens and Mechanics

Huygens works cover all the fields of mechanics, from the invention of technical devices applicable to different machines to a purely rational knowledge of motion. One can say that Huygens was at the origin of a comprehensive practice of mechanics, which is in its eyes, without any doubt, is the central part of any research on natural phenomena. Oscillation of solid bodies, force involved in percussion, isochronism of both theoretical and real pendulum, acceleration of the bodies in free fall, application of the principle of relativity in the measurement of the centrifugal force, propagation of the light in spherical waves and mechanical model of the pressure of gravity : it seems that Huygens' natural philosophy was endowed with each and every research object belonging to the traditional mechanics. But does this profusion have some unity? The comprehension of the Huygens' mechanics would be incomplete without the mention of such a link.

One way of showing the deep unity of Huygens mechanics, is to answer the following question: why did Huygens decide, though admitting and admiring Newton's contribution to a unified science of the terrestrial and celestial motions, to publish the *Discours de la cause de la pesanteur*? Is it only to remain in agreement, at the moment of the completion of his works, with Descartes' system? Is it only to reject the newtonian decision to put away from the *regulæ philosophandi* any speculation on the "causes"? We will try to show that the *Discours* has been mainly published for internal reasons, which are due to a genuine concept of force, forged in the very first attempts of Huygens' scientific career. In that piece of work Huygens tries for the last time to bind mechanical and mechanism, just like he tried to bind them in various unfinished papers on the history of mechanics. The unity of Huygens' mechanics may precisely rely on the impossibility of separating physics, as a science of the effects, from a clear insight on causality. Then we will be able to explain the presence of such a bizarre vortex theory in the writings of the one who acknowledged, just after his reading of Newton's *Principia*, that "Descartes' vortices [were] destroyed". The Editors of the *Œuvres complètes* and many historians did not understand how Huygens could, at the same time, reject and accept a vortex theory of planetary motion. As strange as it could sound, this apparent schizophrenic attitude have reasons that can be found in Huygens first attempts in mechanics, forty years before the publication of the *Traité de la lumière*, and its controversial addition.

-Motion

-Laws of impact

-Equilibrium

-Centrifugal forces

-Isochronism and  
time-keepers

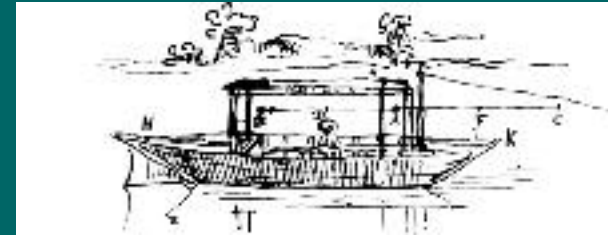
...to the end

Home  
Bibliography

Back

# Laws of motion

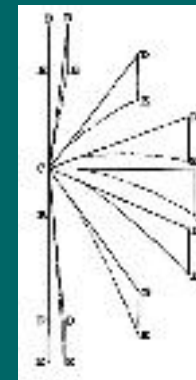
## Conatus & inertia



Principle of relativity



## Free fall



## Combined motion

"Harum [leges naturæ] prima est, unamquamque rem, quatenus est simplex & indivisa, manere, quantum in se est<sup>5</sup>, in eodem semper statu, nec unquam mutari nisi a causis externis"<sup>6</sup>.

"Que chaque partie de la matiere, en particulier, continuë toujours d'estre en un mesme estat, pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de changer<sup>7</sup>."

"Sur quoy ie considere que la nature du mouuement est telle que, lorsqu'un cors a commencé à se mouoir, cela suffit pour faire qu'il continuë toujours après avec mesme vitesse & en mesme ligne droite, iusques à ce qu'il soit arresté ou détourné par quelqu'autre cause<sup>8</sup>."

"si donc la ou il n'y avoit point d'air nij autre empeschement, nous supposions quelqu'un qui avecq un arc tiroit deux flesches a la fois, l'une de bois pesant et l'autre de paille ou matiere plus legere, il est manifeste qu'elle voleront de vitesses egales et que celle de bois ne devancera point celle de paille; car ayant eu egale vitesse pendant que la corde de l'arc les pousoit encore, il s'ensuit du principe susdit qu'elles la garderont aussi puis apres. Je dis donc qu'in vacuo tous les corps sont capables de quelconque vitesse, et que ce que la paille et la laine poussees par une arquebuse tombent presque seulement hors de la bouche du canon, ne procede d'autre cause que de l'empeschement de l'air<sup>9</sup>."

"J'estime en conséquence que l'accélération de tout mobile naturel partant du repos a une limite, et que la résistance du milieu finit par imposer à sa vitesse une uniformité dans laquelle elle se maintient par la suite<sup>10</sup>."

"mais il ne faut pas considerer la resistance de l'air, qui cause à la fin (si le poids tombe d'une fort grande hauteur, quelque pesant qu'il soit) qu'il parvient en un point, d'ou il commence en temps esgaux de faire des progres esgaux<sup>11</sup>."

"L'attens avec grand desir la demonstration de Monsr. vostre fils sur la proportion des cheutes des corps pesans, car il l'aura peut estre prise d'un biais indépendant des suppositions

<sup>5</sup>Cette formule possède des antécédents dans le *De natura rerum* (Chant V, v. 190,201,205,247), mais aussi une certaine fortune puisqu'elle est aussi utilisée par Newton dans sa première formulation d'une loi d'inertie : voir Isidore B. Cohen "Quantum in se est" : Newton, Kepler, Galileo, Descartes and Lucretius" : *Proceedings of the American Catholic Philosophical Association*, 1964, 38, 36-46.[Voir aussi "Quantum in se est" : Newton Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius". *Notes and Records of the Royal Society*, 19, 1964, pp. 131-55. Dans chacune des utilisations de la formule, les choses naturelles sont considérées comme exprimant de façon autonome, sans intention qui leur soit extérieure mais selon leur puissance propre, l'action dont ils sont capables.

<sup>6</sup>*Principia Philosophiæ, Pars Secunda*, art. XXXVII, AT VIII, p. 62 : "La première est que chaque chose en particulier...continue d'estre en mesme estat autant qu'il se peut, & que jamais elle ne change que par la rencontre des autres", *Principes de la philosophie*, II, 37, AT IX, 84

<sup>7</sup>Descartes, *Le Monde ou Traité de la lumière*, AT XI, 38

<sup>8</sup>Lettre de Descartes à Constantijn Huygens du 18 ou 19 février 1643, AT III, p. 619


<sup>9</sup>Lettre de Christiaan Huygens à Mersenne du 28 octobre 1646, O.C., I, p. 24, et O.C., XXII, pp. 54-55, même remarque que précédemment.

<sup>10</sup>*Discours, op. cit., Première Journée*, p. 77 des Ed. Naz.

<sup>11</sup>Lettre à Constantijn Huygens, le frère, du 3 septembre 1646, O.C., I, p. 19



# Free fall



"Ceci estant concédé, soient passé en egals temps les espaces AB, BC, CD, etc. il est donc manifeste que comme l'espace AB à BC, ainsi est l'espace AC à CE, et AD à DG. (...)

Voijons a cest heure s'il ij a quelque progression Geometrique, que puissent avoir les espaces AB, BC, CD etc., passez en temps egaux. Soit donc l'espace  $AB \propto a$ ,  $BC \propto b$ ; si c'est une progression Geometrique CD sera  $\frac{b^2}{a}$ , DE  $\propto \frac{b^3}{a^2}$ , mais il est necessaire par le principe susdit que :


comme AB à BC ainsi AC à CE  
 $a \propto b \propto a+b \propto \frac{b^2}{a} + \frac{b^3}{a^2}$

Donc le rectangle AB, CE doit estre egal au rectangle BC, AC.

$\square AB, CE, bb + \frac{b^2}{a} \propto ab + bb, \square BC, AC$   
 $\frac{b^3 \propto aab}{acob} \quad 48$

O.C. I, p. 24

48 O.C. I, p. 24. Puisque les premiers termes de la suite sont a et b, le seul coefficient de la suite géométrique, ou encore sa "raison", cherchée est  $\frac{b}{a}$ . En effet on a alors  $BC = a \frac{b}{a} = b$ ,  $CD = b \frac{b}{a} = \frac{b^2}{a}$  et  $DE = \frac{b^3}{a^2} = \frac{b^2}{a} \frac{b}{a}$



Voions donc s'il y a quelque progression Arithmétique en la quelle les espaces puissent estre. Que le poids L donc ayant passé au premier temps par l'espace LM $\propto a$ , au second MN  $a + x$ , au troisieme NO  $a + 2x$ , au 4<sup>me</sup>e OP  $a + 3x$ . il faut donc selon mon principe que

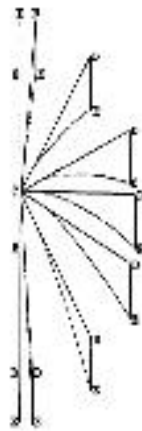
comme LN à MN ainsi LN à NP

$a \propto a+x \propto 2a+x \propto 2a+5x$

$\square LM, NP, 2a + 5ax \propto 2a + 3ax + xx, \square MN, LN$   
 $\frac{2ax \propto ax}{2a \propto ax} \quad 50$

O.C. I, p. 27

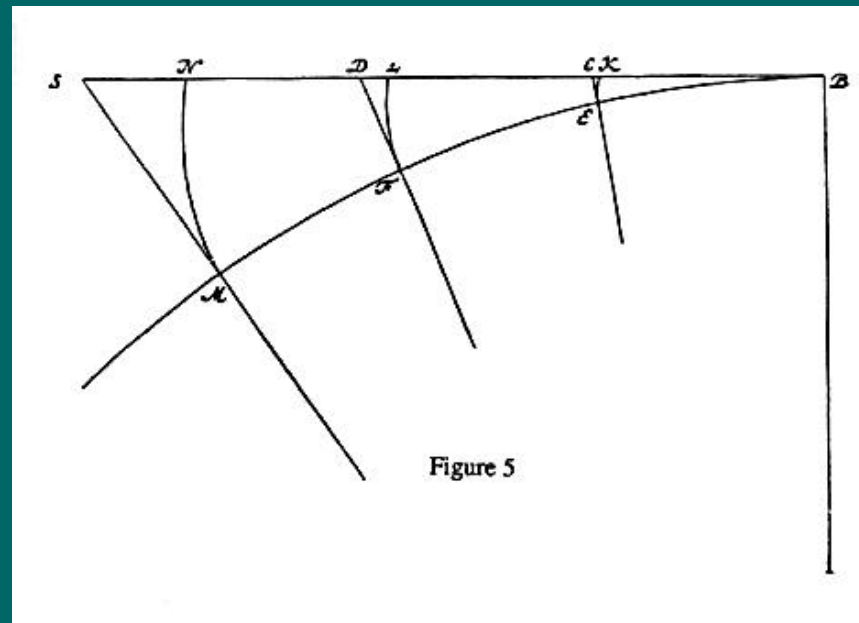
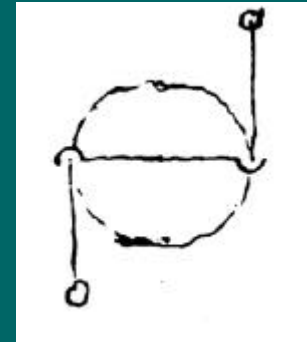
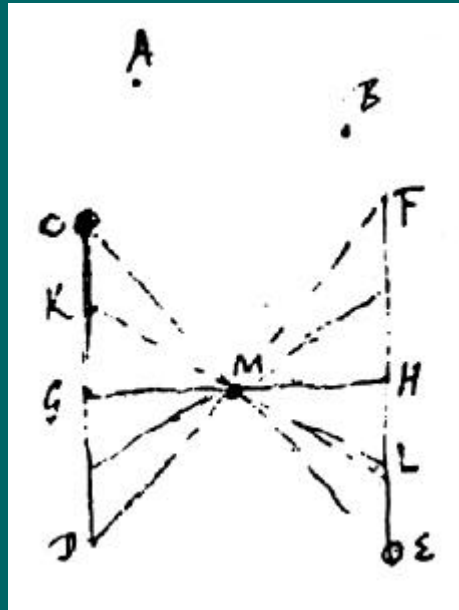
50 O.C., I, p. 27



"Supposons qu'un corps pesant C, partant du repos, parcoure en un certain temps F, grâce à la force de sa gravité, un espace CB. Supposons de plus que le même corps pesant ait reçu d'ailleurs un mouvement par lequel, s'il n'y avait aucune gravité, il parcourrait dans le même temps F d'un mouvement uniforme la ligne droite CD. La force de gravité s'y ajoutant le corps ne parviendra donc pas de C en D dans le dit temps F mais en un certain point E situé verticalement au-dessous de D de telle sorte que l'espace DE est toujours égal à l'espace CB; en effet, de cette façon le mouvement uniforme et celui qui provient de la gravité auront chacun leur part, l'un n'empêchant pas l'autre. Quant à la ligne que le corps parcourt de ce mouvement composé lorsque la direction du mouvement n'est pas verticale mais oblique, sa nature apparaîtra par nos considérations ultérieures. (...)»<sup>1</sup>

*Horologium Oscillatorium*

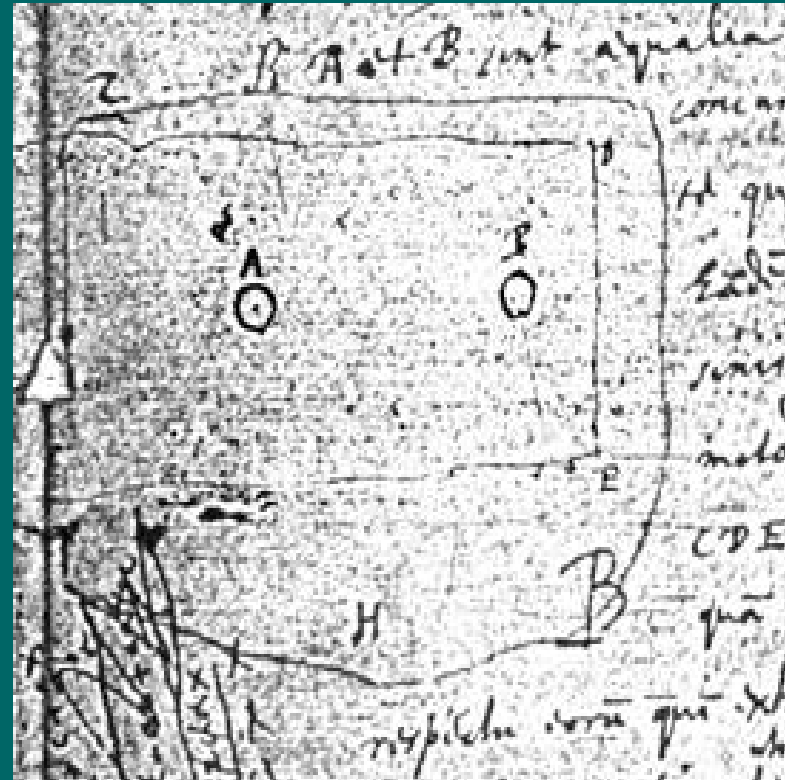
# Relativity



# Laws of impact

1652  
1656

- denial of a « *vis collisionis* » that would suggest a force acting constantly in bodies, in contradiction with the principle of relativity
- discovery of an algebraic conservation of motion driven into the square speed of each body before and after the impact. Huygens calls it « *axioma* ».
- results published without demonstration in 1669. Different versions.
- Huygens gives a geometrical representation of his *axioma*.
- $mv^2$  quantity is seized as a fundamental principle by Leibniz since 1677. In his manuscripts before the *De corporum concursu*, Leibniz rejects Huygens' rule of algebraic conservation. Then he changes his mind and calls  $mv^2$  the « *forces vives* »





# Algebraic conservation

Soient  $x$  et  $y$  les variables cherchées représentant respectivement les vitesses acquises après le choc par B et A. A se meut avant le choc avec une vitesse  $c$ , B est au repos, ainsi que le premier cas envisagé le laisse penser. Huygens écrit :

$$bx + ay = ac \quad [1]$$

$$y = c - \frac{bx}{a} \quad [2]$$

Autrement dit, les quantités de mouvement avant et après le choc, B étant au repos, se conservent et donnent un rapport algébrique isolant la vitesse  $y$  acquise par le corps A après le choc. Or  $y$  s'exprime ici encore en fonction de  $x$ . Huygens procède à une substitution de variables qui donne sans autre médiation :

$$acx - 2bcx + \frac{b^2xx}{a} + b^2xy = ac^2 \quad [4]$$

En fait, Huygens part de l'expression algébrique de  $y$  et l'introduit dans l'expression (1):

$$y = c - \frac{bx}{a}$$

$$bx + a \left( c - \frac{bx}{a} \right) = ac$$

Conformément à l'axiome 2 qui n'est autre qu'un principe de conservation de la vis collisonis évoquée dans les premières lignes biffées par Huygens du fol. 9r, toutes les vitesses sont élevées au carré, ce qui donne :

$$bx^2 + a \left( c - \frac{bx}{a} \right)^2 = ac^2$$

Soit, en développant :

$$bx^2 + a \left( cx - \frac{2bcx}{a} + \frac{b^2cx}{ax} \right) = ac^2$$

puis :

$$bx^2 + acx - 2bcx + \frac{b^2cx}{a} = ac^2 \quad [3]$$

La suite de la dérivation à laquelle Huygens se livre a pour but d'exprimer  $x$  en fonction des seules variables connues, vitesse initiale de A et grandeurs des corps en présence :

$$2ca = bx + ax$$

$$\frac{2ca}{b+a} = x \quad [4]$$

# 1 2

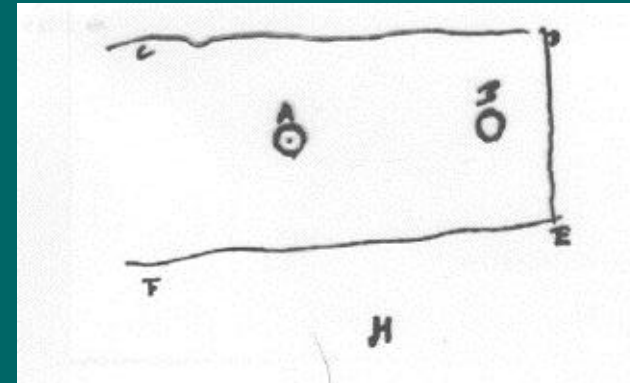
## Geometrical account for the axioma of impact

- C defined as  $AC/AB = M_a/M_b$
- AD = speed of A before impact
- BD = speed of B before impact
- E defined as  $CD = CE$
- AE and BE resulting speeds
- Axioma says

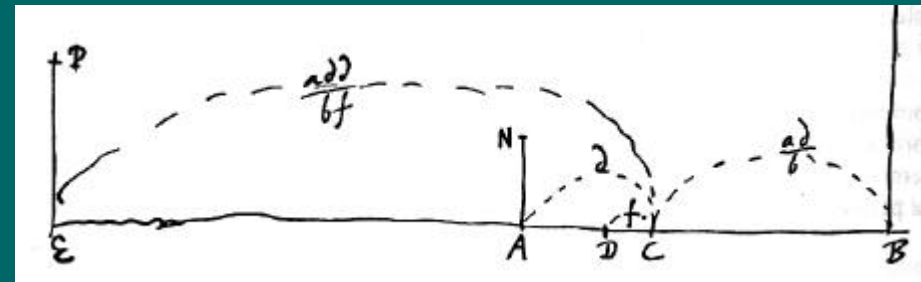
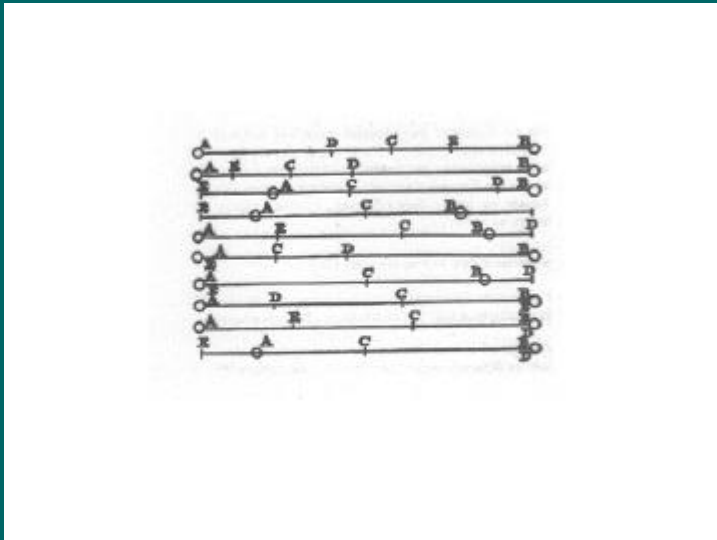
$$AD^2 + BD^2 = AE^2 + BE^2$$

$$(AC - CD)^2 + (BC + CD)^2 = (AC + CE)^2 + (BC - CE)^2$$

QED

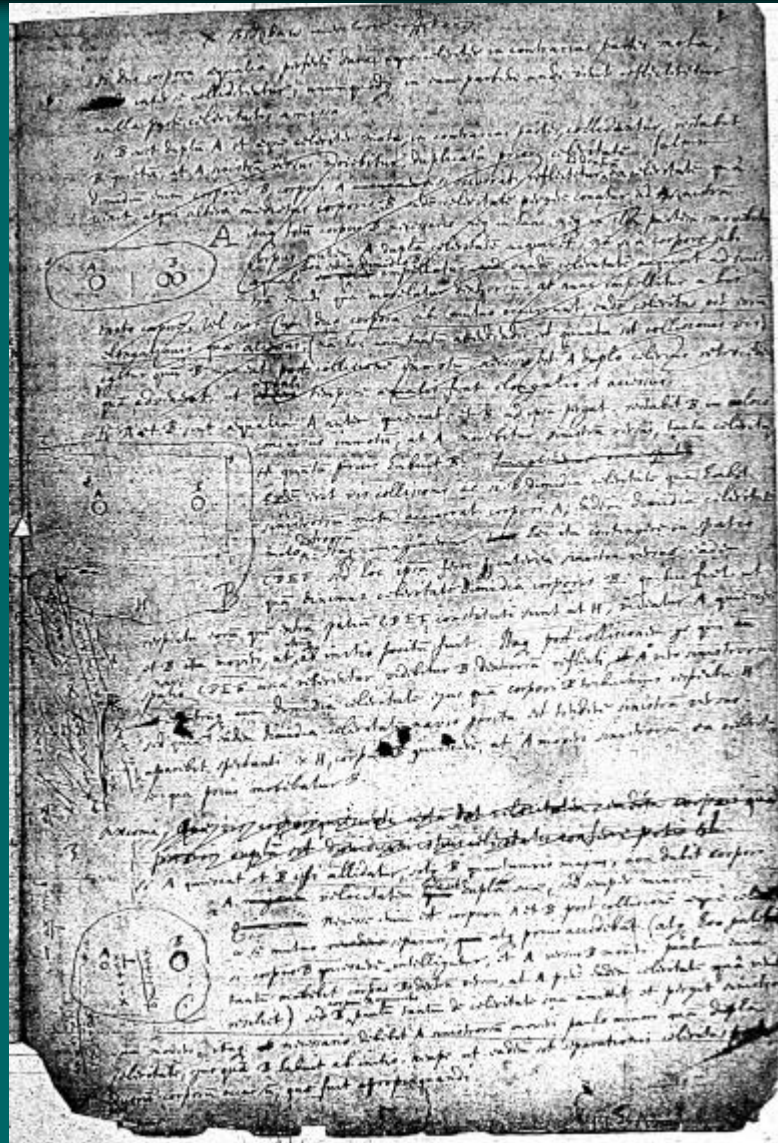


A and B in relative motion



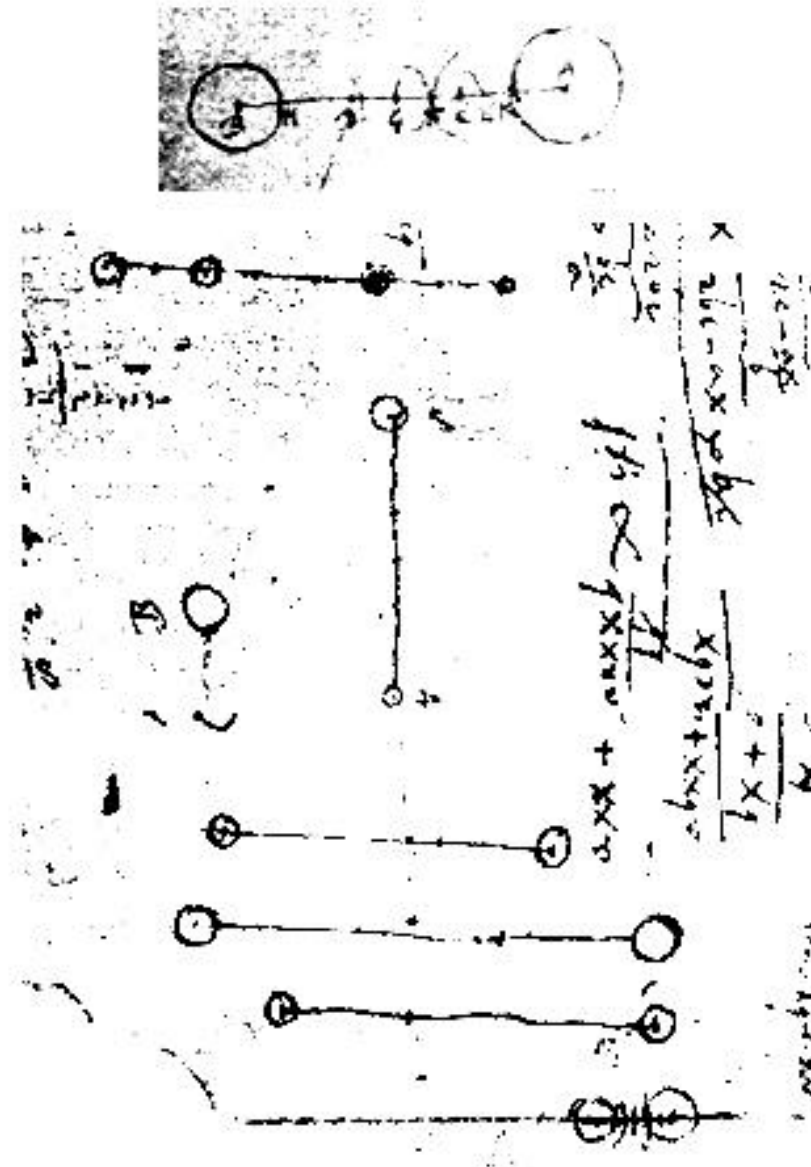
« choc mou » (non perfectly hard impact)

# Manuscript on impact



[Details](#)

# Manuscript on impact (2)



# Equilibrium

- First attempts in early correspondance : centre of oscillation for different solid bodies.
- The motion of the centre of oscillation tends to simple conservation
- Mathematical treatment the oscillation centre (*Horologium Oscillatorium*)
- Application to clock regulation

$$\frac{\sum m_i g [h_i + \frac{v_i^2}{2g}]}{\sum m_i g} \quad \text{ou} \quad \frac{\sum m_i g h_i + \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2}{\sum m_i g}$$

$$(I) \sum_{i=1}^n d_i m_i = d_G \sum_{i=1}^n m_i$$

$$(V)x = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_i^2}{d_G \sum_{i=1}^n m_i}$$

$$(VI)x = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n d_G}$$

# Mechanical principle

"Figuræ cuilibet oscillatorio motu agitatae isochronum est pendulum simplex cujus longitudo æqualis ei quæ sit cum quadrata omnium perpendicularium, ductarum a particulis minimis, in quas figura secati intelligitur, in axem oscillationis dividuntur per distantiam centri gravitatis ab axe oscillationis multiplicem per numerum earundem particularum"<sup>1</sup>.

1. à H. Oldenburg, 4 septembre 1669, "Anagrammata missa ad Londinum ut adserventur Actis Societatis Regiæ", O.C., VI, p. 488

# Proposition I

"Un nombre quelconque de poids se trouvant du même côté d'un plan, si on mène du centre de gravité de chacun d'eux une perpendiculaire à ce plan, la somme des produits de chacune de ces perpendiculaires par le poids qui leur correspond sera égale au produit de la perpendiculaire menée du centre de gravité de tous les poids vers le plan considéré, par la somme de tous les poids"<sup>5</sup>.

$$(I) \sum_{i=1}^n d_i m_i = d_G \sum_{i=1}^n m_i$$

[...to equilibrium](#)

# Proposition V

" Etant donné un pendule composé d'un nombre quelconque de poids, si chacun des poids est multiplié par le carré de sa distance à l'axe d'oscillation et que la somme des produits est divisée par le produit de la somme des poids par la distance du centre commun de gravité de tous les poids au même axe d'oscillation, il en résultera la longueur du pendule simple isochrone avec le pendule composé, en d'autres termes la distance entre l'axe et le centre d'oscillation du pendule composé.<sup>3</sup>"

3. *Horologium Oscillatorium, Quatrième Partie*. Proposition V : "Dato pendulo ex ponderibus quotlibet composito, si singula ducantur in quadrata distantiarum suarum ab axe oscillationis, et summa productorum dividatur per id quod fit ducendo ponderum summam, in distantiam centri gravitatis communis omnium ab eodem axe oscillationi; orietur longitudo penduli simplicis composito isochroni, sive distantia inter axem et centrum oscillationis ipsius penduli compositi." O.C., XVIII, pp. 258-59 (traduction des Editeurs)

$$(V)x = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_i^2}{d_G \sum_{i=1}^n m_i}$$

[...to equilibrium](#)

[Home](#)  
[Bibliography](#)

[Back](#)



# Proposition VI

$$(VI)x = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{nd_G}$$

Length of the composed pendulum, expressed with no reference to single mass of single bodies.

[...to equilibrium](#)

[Home](#)  
[Bibliography](#)

[Back](#)

# Oscillation

"Le très savant Mersenne me proposa jadis, j'étais encore presque un enfant, ainsi qu'à beaucoup d'autres, l'étude des centres d'Oscillation ou d'Agitation (...) Cela revient à ceci : que soit trouvé un pendule simple, c'est-à-dire un poids attaché à un fil, ayant une longueur telle qu'il exécute des oscillations dans le même temps que les figures suspendues, dont il a été dit un mot. [les questions de Mersenne reposaient sur la variation des points de suspension d'une figure, telle que le cercle, que l'on faisait alors se mouvoir]<sup>2</sup>."

2. O.C., XVIII, p. 242 : "Centrum Oscillationis, seu Agitationis, investigationem olim mihi, fere adhuc puero, aliisque multis, doctissimus Mersennus proposuit (...) Quod eo redit, ut pendulum simplex, hoc est, pondus filo appensum reperiatur ea longitudine, ut oscillationes faciat temporum eorundem ac figurae istae, uti dictum est, suspensae ." (nous traduisons)

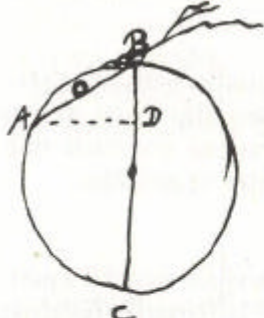
*Horologium oscillatorium*



# Pendula 1


Link between conatus and gravitas (the feeling of the weight in one's hand).

[Fig. 1.]



5. Si gravi conatus adfit descendendi secundum crescentem accelerationem 1, 3, 5, 7 &c. unoque, verbi gratia, secundo transeundi per dimidium ejus spatij, quod transiret pari tempore cadendo ad perpendicularum; eo conatu fit ut dimidia tantum gravitas sentiatur ejus quæ sentiretur pendente gravi ex fune. Ita grave in plano AB [Fig. 1] dimidium pendet ejus quod rectè suspensum penderet, quia eodem tempore spatium BA quo duplum ejus BC in perpendicularo transiret. Scimus autem dimidium pendere quia BA dupla est BD perpendicularis.

[Fig. 2.]

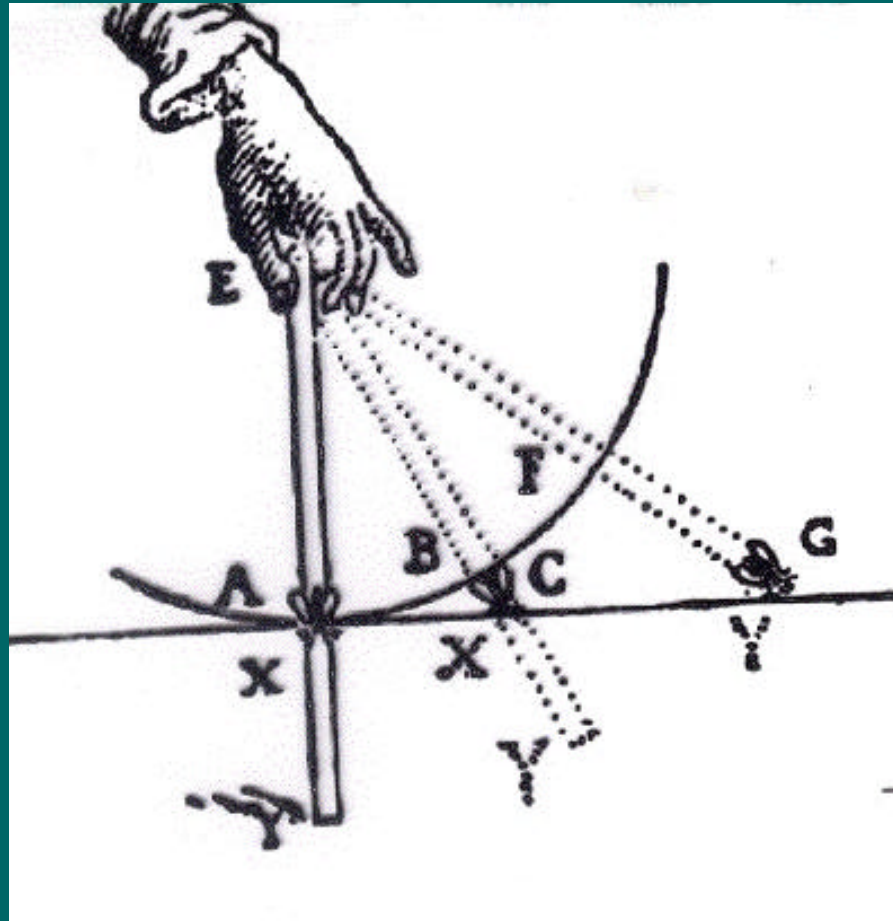


6. Si longitudo funiculi dupla fit alterius; conversio autem integra utriusque, sive similes arcus, eodem tempore fiant, erit attractio in funiculo longiori dupla quoque ejus quæ in breviori sentitur ?).

If same arcs are described in same times the attractio is proportional to the radius

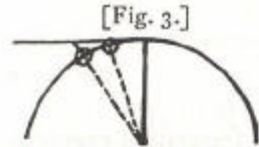


# Descartes attempt



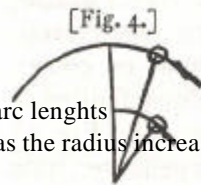
# Pendula 2

If speed is doubled, the *tractio* is the square of its former value



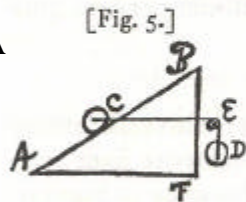
7. Si duplicetur velocitas circumvolutionis, attractio prioris quadrupla efficitur.

Attractio = pondus x speed<sup>2</sup>/radius (propo. 7 and 8)



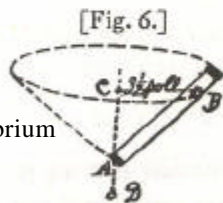
8. Si eadem celeritate in diversæ magnitudinis circulis gyretur, hoc est ut eodem tempore arcus æquales (non autem similes) absolvat, erit attractionis vis in ratione contraria qua circulationis radij, ita ut in minori radio major fit attractio.

Equal speeds means different arc lengths  
Hence the *tractio* is smaller as the radius increases.



9. Si pondus C sustineatur in plano inclinato AB à pondere D liberè pendente, sitque funis CE horizonti parallelus: Erit gravitas D ad C sicut perpendicularis BF ad bafin FA. Ex Mechanicis. Hinc si BF æqualis ponatur FA debet gravitas D ipsi C æqualis esse.

$C/D = BF/FA$

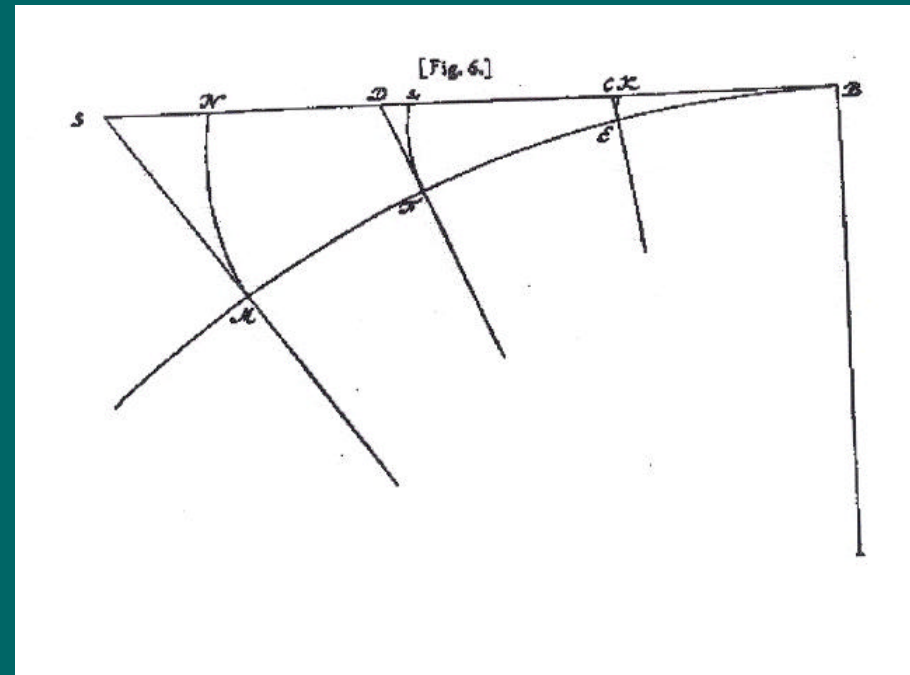
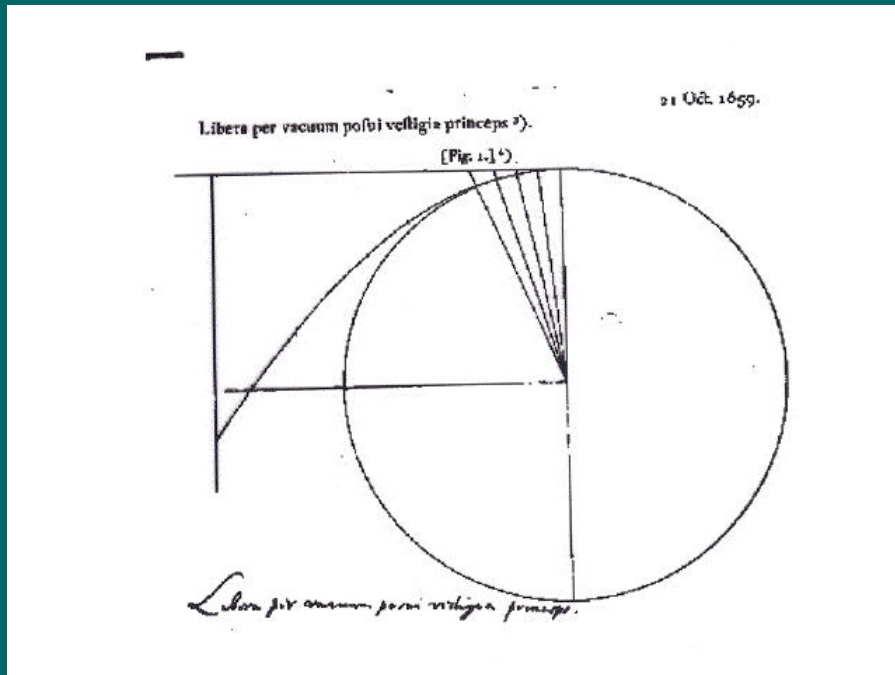


10. Si tubus AB inclinatus gr. 45, gyretur circa AC axem, fingulis secundis semel circumiens, intraque eum collocetur sphaerula B, ea se hoc loco sustinebit si fuerit AC vel CB 9½ poll. Rhynl. \*) Certe non decidet, sed sursum evolabit 3). Si enim in rota jaceret, distantia ista 9½ poll. 4) à centro C remota; posset æqualem sibi sphaerulam D pendentem sustinere, alligatam videlicet fune DCB, ac per centrum rotæ dependentem. In tubo autem gytrato nititur à centro tendere secundum CB rectam. Eadem autem vis requiretur ad sustinendum globulum in B super plano BA, pre-mendo nempe secundum CB, atque ad sustinendum eundem globulum liberum

Conditions for an equilibrium  
At B, rotating in a tube

[Centrifugal force](#)

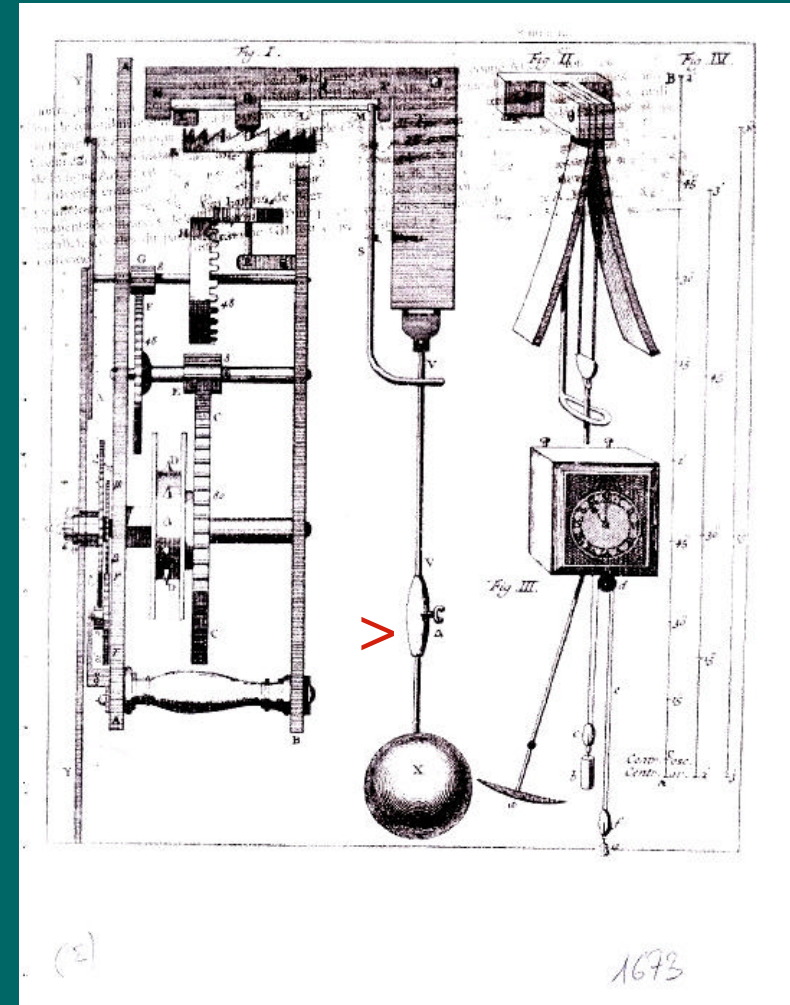
# Quantifying centrifugal force



Posthumous *de vi centrifuga*

# Isochronism and timekeepers

- Search for a motion only dependant on the length of a pendulum
- Demonstration of the isochronism of small circular path on the circle
- Rigourous isochronism : cycloidal path
- Design of many kind of clocks, including marine clocks for the invention of longitude
- The art of designing clocks meets theorical and practical aspects of Huygens' mechanics.



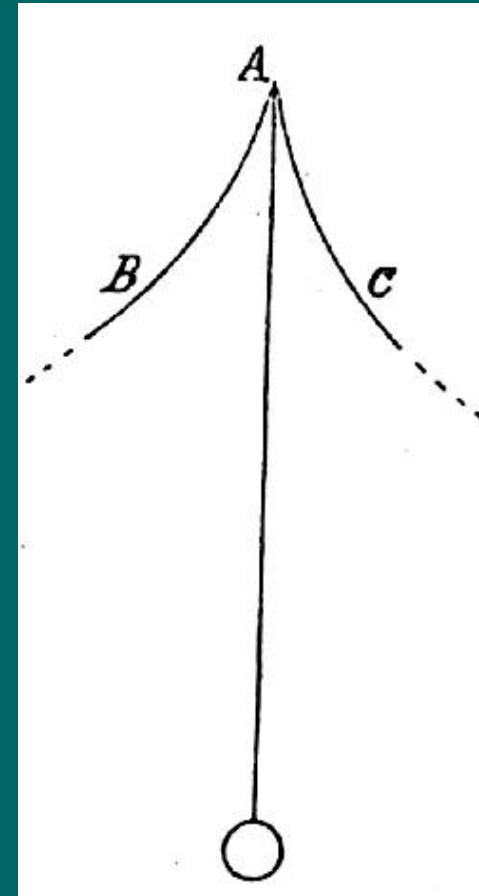


# length

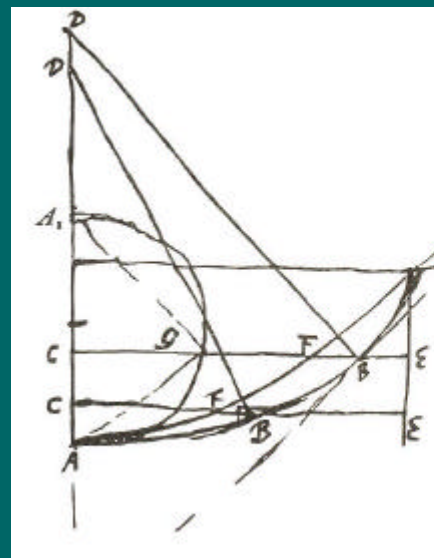
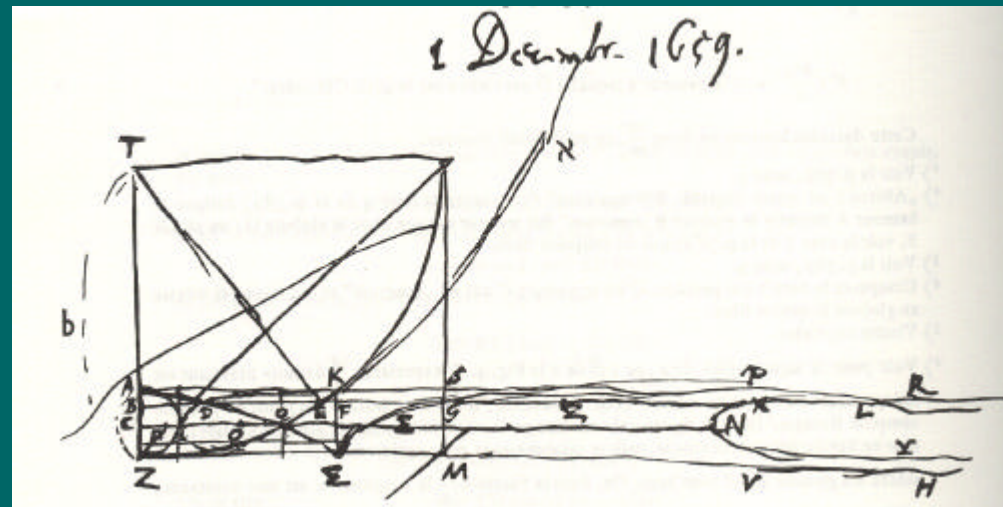
- Most of Huygens' discoveries in rational mechanics appear in the 50's. One common interest shared by a natural philosopher and an astronomer is the accuracy of time measurement. Huygens, independantly from the Italian school of Galileo, had the idea to regulate clocks with the motion of a pendulum. But the crucial point was the exactness of each oscillation, and Huygens was dissatisfied with the approximative accuracy of very small swings in a pendulum clock. Huygens, as usual, needed a mathematical proof. In 1659, he gave the demonstration that the perfect isochronism (independance of the frequency and the path of a 'funipendulum') was obtained when the bob of pendulum described a cycloidal curve. Then the frequency is only dependant on the length of the pendulum :

$$l = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g}}$$

- This property of the cycloid came to Huygens' mind when, having demonstrated that short oscillations are perfectly isochronous, he remembered his own contribution to Pascal's challenge on the "roulette" geometrical properties : in such a figure, all tangents are parallel to the corresponding chords of the generating circle, and the time of fall is thus equal whatever the amplitude.



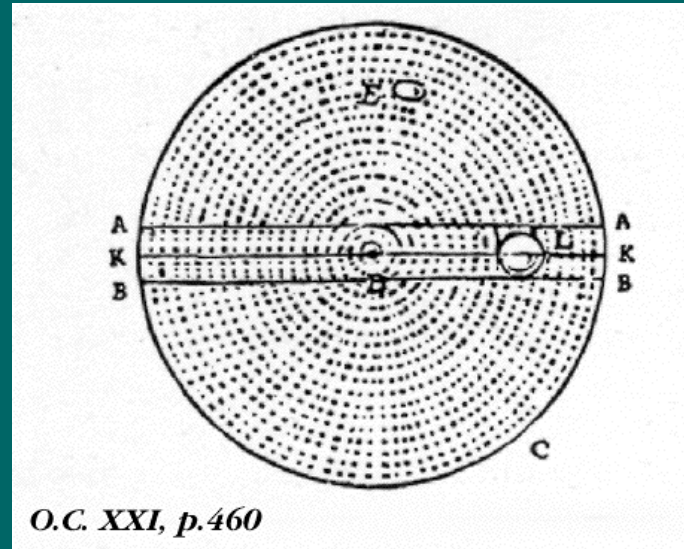
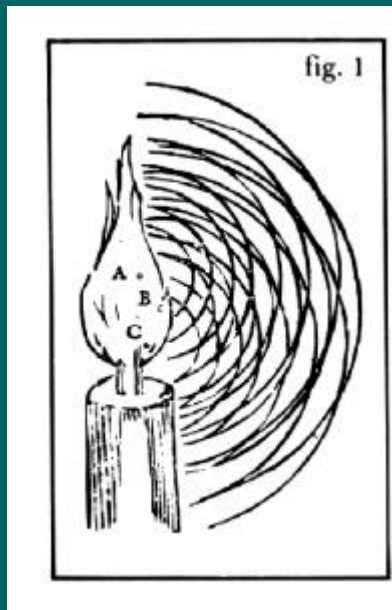
# Manuscripts on isochronism



Curvam AB [Fig. 11] quæ sit ejus naturæ, ut ductâ ipsi BD ad ang. rectos, quæ occurrat axi AD in D, faciendoque ut BD ad applicatam ordinatim BC, ita sit recta quævis EC ad CF in eadem ordinata sumptam, sit FFA parabola; eam curvam esse Cycloidem<sup>2</sup>).

# (2) Controversies

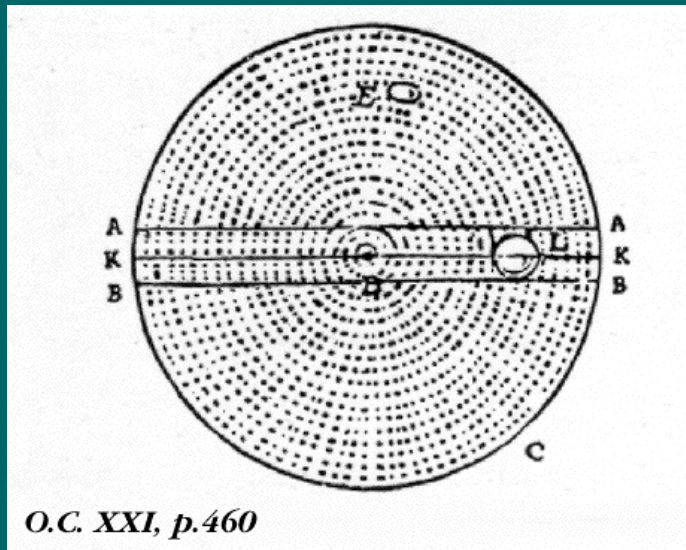
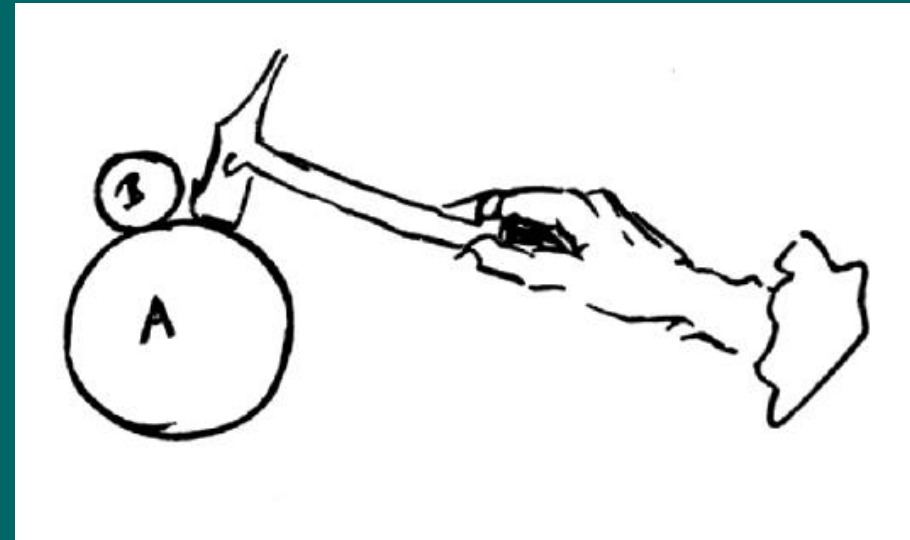
- Theory of gravity
- On light



- Both gravity and light belong to a mechanical explanation of nature.
- In both cases, Huygens faces newtonian principles.

# Theory of gravity

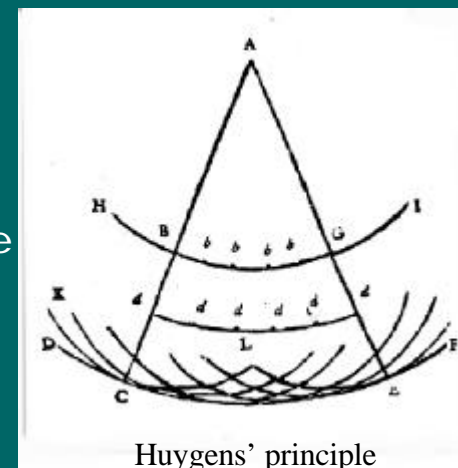
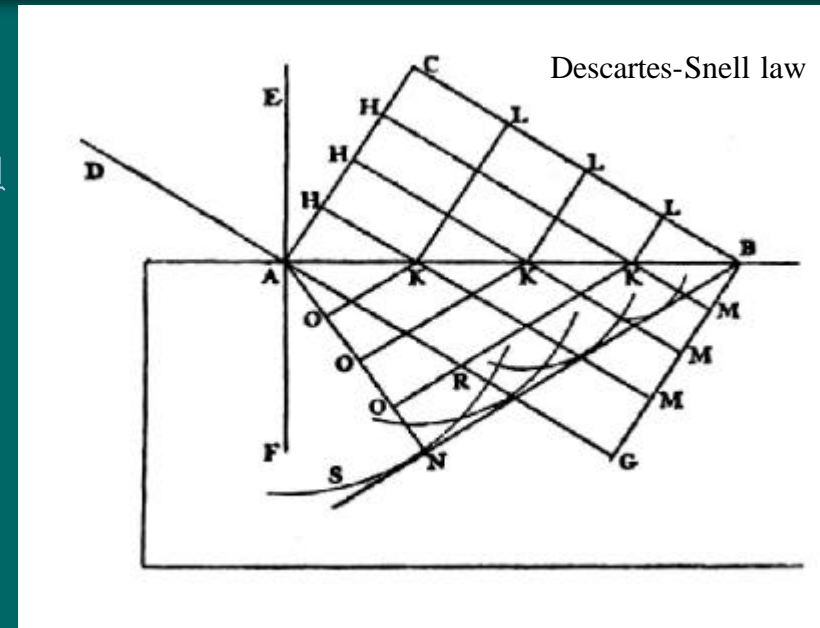
- Huygens' cartesianism as a problem
- Early discussions on the cause of gravity
- The *Discours de la cause de la pesanteur* (1690) as a reply to Newton's *Principia*.



O.C. XXI, p.460

# On light

- Huygens refuses to admit Newton's papers on the nature of light (1672).
- 1672-1677 : study of the Island cristal (spath) in order to explain the extraordinary refraction. The structure of the cristal is the mechanical device that can explain such a phenomenon.
- 1677 : discovery of the wave theory and Huygens' principle.
- 1690 : *Traité de la lumière.*
- Wave theory explains the extraordinary refraction, and some diffraction effects, but rectilinear propagation and polarized light still remain unsolved. Newton's corpuscular theory is not completely challenged.
- Since color can't accept yet any explanation by the means of the wave mechanics, Huygens doesn't publish anything on the matter.





# Manuscript on light

*C.M. tangens in C. ML parallel. CA. MLA radius  
 MA radius. AV per. MA. AVX radius. VX per. L  
 XF tang. Ellipse AF. et refractio radij MA. in AM & VX. etc.*

*Exo prop. per XA, HA, SA  
 radij. AX, XV, XZ  
 XZ per. AO & AG. XV per. MA  
 HA. in MA. in KAQHA in lat.  
 XA. Exo per. AG & AO. AR & AK  
 AO & AT. (radij. HM) in MN & NA  
 KA & AN. HA & RA. Exo. X. arq.  
 SAT. AR & AH. in AH & AK.  
 JAH. et 11° 26' 74" 2 9 8 4 7 0.*

*ΕΥΡΗΚΑ 6 Aug 1677.  
 Causa radij refractio  
 in Crystallo Islandico.*

*AC radius inla pntreas.  
 AB refractio radij perabulanti  
 AS axis anguli solidi obtusi.  
 AP per. AS. axis Ellipsis in  
 spheroidis & tangenti BD in B.  
 BZ, BA per. in AP, AS.  
 AP quatuor. radij. Ax. AD. Min. AS  
 multi prop. valor AD, AS.  
 XM parallel tangens in C. ML per. AC  
 ang. ML radius.*

*Quo triangulo lux in  
 superficie spheroidis  
 radij ML. radij. ut  
 crystalli fuerit refractio  
 TXq. radij. PCH.*

*ut ML & Ax. in KAQHA  
 in AE (radius ad contactu KE)  
 refractio radij. radij. per  
 MA. ut in manu. Ellipse peria  
 XA. arq. L. et in radij. AE. D. omni  
 est XE.*

*Videtur in AHX  
 hinc radij. refractio. et hinc factio  
 et hinc ut in manu. radij. per  
 et hinc. Ellipse AS  
 radij. per. in BA. AD. radij. in manu  
 et hinc. Ellipse AS.*

*44. 45  
 37. 45*

*24*

"Harum [leges naturæ] prima est, unamquamque rem, quatenus est simplex & indivisa, manere, quantum in se est<sup>5</sup>, in eodem semper statu, nec unquam mutari nisi a causis externis"<sup>6</sup>.

"Que chaque partie de la matiere, en particulier, continuë toujours d'estre en un mesme estat, pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de changer<sup>7</sup>."

"Sur quoy ie considere que la nature du mouuement est telle que, lorsqu'un cors a commencé à se mouuoir, cela suffit pour faire qu'il continuë touliours après avec mesme vitesse & en mesme ligne droite, iusques à ce qu'il soit arresté ou détourné par quelqu'autre cause<sup>8</sup>."

"si donc la ou il n'y avoit point d'air nij autre empeschement, nous supposions quelqu'un qui avecq un arc tiroit deux flesches a la fois, l'une de bois pesant et l'autre de paille ou matiere plus legere, il est manifeste qu'elle voleront de vitesses egales et que celle de bois ne devancera point celle de paille; car ayant eu egale vitesse pendant que la corde de l'arc les pousoit encore, il s'ensuit du principe susdit qu'elles la garderont aussi puis apres. Je dis donc qu'in vacuo tous les corps sont capables de quelconque vitesse, et que ce que la paille et la laine poussees par une arquebuse tombent presque seulement hors de la bouche du canon, ne procede d'autre cause que de l'empeschement de l'air<sup>9</sup>."

"J'estime en conséquence que l'accélération de tout mobile naturel partant du repos a une limite, et que la résistance du milieu finit par imposer à sa vitesse une uniformité dans laquelle elle se maintient par la suite<sup>10</sup>."

"mais il ne faut pas considerer la resistance de l'air, qui cause à la fin (si le poids tombe d'une fort grande hauteur, quelque pesant qu'il soit) qu'il parvient en un point, d'ou il commence en temps esgaux de faire des progres esgaux<sup>11</sup>."

"L'attens avec grand desir la demonstration de Monsr. vostre fils sur la proportion des cheutes des corps pesans, car il l'aura peut estre prise d'un biais indépendant des suppositions

<sup>5</sup>Cette formule possède des antécédents dans le *De natura rerum* (Chant V, v. 190,201,205,247), mais aussi une certaine fortune puisqu'elle est aussi utilisée par Newton dans sa première formulation d'une loi d'inertie : voir Isidore B. Cohen "Quantum in se est" : Newton, Kepler, Galileo, Descartes and Lucretius" : *Proceedings of the American Catholic Philosophical Association*, 1964, 38, 36-46.[Voir aussi "Quantum in se est" : Newton Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius". *Notes and Records of the Royal Society*, 19, 1964, pp. 131-55. Dans chacune des utilisations de la formule, les choses naturelles sont considérées comme exprimant de façon autonome, sans intention qui leur soit extérieure mais selon leur puissance propre, l'action dont ils sont capables.

<sup>6</sup>*Principia Philosophiæ, Pars Secunda*, art. XXXVII, AT VIII, p. 62 : "La première est que chaque chose en particulier...continue d'estre en mesme estat autant qu'il se peut, & que jamais elle ne change que par la rencontre des autres", *Principes de la philosophie*, II, 37, AT IX, 84

<sup>7</sup>Descartes, *Le Monde ou Traité de la lumière*, AT XI, 38

<sup>8</sup>Lettre de Descartes à Constantijn Huygens du 18 ou 19 février 1643, AT III, p. 619

<sup>9</sup>Lettre de Christiaan Huygens à Mersenne du 28 octobre 1646, O.C., I, p. 24, et O.C., XXII, pp. 54-55, même remarque que précédemment.

<sup>10</sup>*Discours, op. cit., Première Journée*, p. 77 des Ed. Naz.

<sup>11</sup>Lettre à Constantijn Huygens, le frère, du 3 septembre 1646, O.C., I, p. 19





de Galilée<sup>12n</sup>.

"La seconde objection estoit, que pour garder in vacuo les proportions des nombres 1, 3, 5, 7, is estoit necessaire que le grave tombast par tous les degrez de tardité et que cela n'estoit point, à cause que la pierre avoit au commencement de sa chute desja une certaine vitesse. Le dis que sans doute elle passe par tous les degrez de tardite, et qu'elle a eu moindre vitesse que quelconque vitesse donnee<sup>13</sup>."

"Or tel est le principe sur lequel est fondee ma raison, que si la gravite P en commençant sa chute passe en certain temps par l'espace PS, et au temps suivant par l'espace SR; et que la mesme en un autre temps du commencement de sa cheute passe par l'espace PV, et soit au temps suivant par l'espace VM; et que le temps de la chute par l'espace PS soit au temps par SR comme le temps par PV au temps par VM; que alors l'espace PS est a SR comme PV à VM<sup>14</sup>."

"les dits espaces ne peuvent estre en aucune progression Geometrique que de l'esgalité. L'opinion doncque de ceux qui disent, qu'ils sont en la progression 1, 2, 4, 8 est fort ridicule<sup>15</sup>."

"Et je ne trouve point d'autres progressions qui ayent quelque regularité, et la propriété requise que cellecy. Et pour cela je croij qu'il n'y a point d'ordre du tout, ou que c'est celui des ces nombres impairs<sup>16</sup>."

"14 Dec. 1688. Hasce omnes difficultates abstulit Clar. vir. Neutonus, simul cum vorticibus Cartesianis; docuitque planetas retineri in orbitis suis gravitatione versus solem. Et excentricos necessario fieri figuræ Ellipticæ. Valeat igitur et Wardi, Pagani et Bullialdi prima hypothesis<sup>17n</sup>."

---

<sup>12</sup>Lettre à Constantijn Huygens du 12 octobre 1646 O.C., I, p. 22

<sup>13</sup>Lettre à Mersenne du 28 octobre 1646, O.C., I, p. 25, lettre dont il existe plusieurs copies divergentes, voir sur ce point l'explication de Vollgraff, O.C., XXII, pp. 54-55. La présentation matérielle de celle qui est publiée dans les O.C. ne correspond donc pas à celle que Mersenne reçut de Huygens, l'original se trouvant à l'Osterreichische Nationalbibliothek Wien, Cod. 7049, ff.189r-194r.

<sup>14</sup>*Ibidem*, pp. 25-26; le dessin qui correspond à cet argument se trouve dans le *De motu naturaliter accelerato*, O.C., XI, pp. 68-75. On ne le trouve pas dans la lettre même que Huygens envoie à Mersenne

<sup>15</sup>*Ibidem*, p. 26

<sup>16</sup>*Ibidem*, p. 27

<sup>17</sup>O.C. XXI, p. 143 : "14 décembre 1688. Toutes ces difficultés, Newton, cet homme illustre, les a détruites, en même temps que les tourbillons de Descartes; et il a montré que les planètes sont retenues sur leurs orbites par la pesanteur dirigée vers le soleil. Et les excentrique deviennent nécessairement des figures elliptiques. La première hypothèse de Ward, de Paganus et de Boulliau est donc valable".

# Conclusion



- From the first writings to the *Traité de la lumière*, Huygens follows straight rules that belong to a certain idea of mechanics, both pure and applied science.
- Rejects any substantial form (such as a force acting constantly in bodies)
- Relativity vs dynamics (against Leibniz and Newton)
- Mechanics applies to every field of natural philosophy, but does not apply to living bodies (against Descartes)
- Things that can't be explained under the laws of mechanics don't belong to physics.

# Bibliography

- [1]
- 1929 Christiaan Huygens 1629-14 april-1929. Zijn geboortedag, 300 Jaar geleden, herdacht, H. J. Paris, Amsterdam 1929.
- [2]
- 1979 (1989) Huygens 1629-1695. Een Quaestie van Tijd (Leiden : Museum Boerhaave). [2a] 1989, Publié aussi sous le titre: Christiaan Huygens 1629-1695, Mededeling 224 uit het Rijksmuseum voor de Geschiedenis van de Natuurwetenschappen en van de Geneeskunde, (Leiden : Museum Boerhaave). [2b] 1979, Traduction Anglaise : Christiaan Huygens 1629-1695. A Question of Time, (Leiden : Museum Boerhaave). [2c] 1979, Traduction française : Christiaan Huygens 1629-1695. Le Temps en Question, (Paris : Les Presses Artistiques).
- [3]
- 1979 Octrooi op de Tijd. Slingenuurwerken (1657-1710) geconstrueerd naar de uitvinding van Christiaan Huygens, Reinier Plomp (Ed.), Mededeling 200 uit het Rijksmuseum voor de Geschiedenis van de Natuurwetenschappen en van de Geneeskunde (Leiden).
- [4]
- 1980 Studies on Christiaan Huygens. Invited papers from the Symposium on the Life and Work of Christiaan Huygens, Amsterdam, 22-25 August 1979, Hendrik J. M. Bos (Ed) et al., (Lisse : Swets & Zeitlinger).
- [5]
- 1982 Huygens et la France. Table ronde du C.N.R.S., Paris 27-29 mars 1979, (Paris : Vrin).
- [6]
- 1996 Christiaan Huygens. Actes du Congrès International de Leiden, mai 1995, numéro spécial de De zeventiende eeuw. Cultuur in de Nederlanden in interdisciplinair perspectief, XII (1996-I).
- [7]
- 2003 Expérience et raison, la science chez Huygens (1629-1695)F. Chareix (Ed.), in Revue d'Histoire des sciences, 56-1 (2003)
- Burch Christopher B.,
- 1981 Huygens' Pulse Models as a Bridge between Phenomena and Huygens' Mechanical Foundations, Janus, **LXVIII**, 53-64.
- 1985 Christiaan Huygens: the Development of a Scientific Research Program in the Foundations of Mechanics (Ann Arbor : University Microfilms International) 1985. [Thèse de Doctorat soutenue à l'Université de Pittsburgh]
- Chareix Fabien,
- 1996 La pesanteur dans l'univers mécanique de Christiaan Huygens, in [6], 244-252.
- 2001 L'héritage de Descartes in Ziad Elmarsafy (Ed.) Romanice 15. Philosophy of classical France. Arizona State University-Weider-Buchverlag, 2001, 41-72.
- 2002 Vaincre la houle : les horloges marines de Christiaan Huygens in Vincent Jullien (Ed.) Le calcul des longitudes, (Rennes : Presses Universitaires de Rennes), 169-202.
- Gabbey Alan,
- 1980 Huygens and Mechanics, in [4], 166-199.

# Bibliography (2)

- Dijksterhuis Eduard J.,
- 1924 Val en Worp. Een bijdrage tot de Geschiedenis der Mechanica van Aristoteles tot Newton (Groningen : P. Noordhoff).
- 1928-1929 Over een mechanisch axioma in het werk van Christiaan Huygens, Christiaan Huygens. Internationaal Mathematisch Tijdschrift, **VII**, 161-180.
- 1950 De Mechanisering van het Wereldbeeld, (Amsterdam : Meulenhoff).
- 1961 The mechanization of the world picture. Pythagoras to Newton, (Oxford : Oxford University Press) [Traduction anglaise de [1950]]
- Mormino Gianfranco,
- 1990 La relatività del movimento negli scritti sull'urto di Christiaan Huygens, in De Motu. Studi di storia del pensiero su Galileo, Hegel, Huygens e Gilbert, (Milano : Cisalpino), 107-138.
- 1993 'Penetralia Motus'. La fondazione relativistica della meccanica in Christiaan Huygens, con l'edizione del 'Codex Hugenorium' 7A, (Firenze : La Nuova Italia). [Contient une édition de manuscrits]
- 1996 The Philosophical Foundations of Huygens's Atomism, in [6], 74-82.
- 1996 Atomismo e meccanicismo nel pensiero di Christiaan Huygens, Rivista di storia della filosofia, **LI**, 829-863.
- Shapiro Alan E.,
- 1973 Kinematic Optics: a Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century, Archive for History of Exact Sciences, **XI**, 134-266.
- 1980 Huygens' Kinematic Theory of Light, in [4], 200-220.
- 1980 Newton and Huygens' Explanation of the 22° Halo, Centaurus, **XXIV**, 273-287.
- 1989 Huygens' 'Traité de la Lumière' and Newton's 'Opticks': Pursuing and Eschewing Hypotheses, Notes and Records of the Royal Society of London, **XLIII**, 223-247.
- Vilain Christiane
- 1996 La mécanique de Christiaan Huygens: la relativité du mouvement au XVIIe siècle, (Paris : Blanchard).
- Westfall Richard S.,
- 1968 Huygens' Rings and Newton's Rings: Periodicity and Seventeenth Century Opticks, Ratio, **X**, 64-77.
- 1971 Force in Newton's Physics. The Science of Dynamics in the Seventeenth Century, (New York : Neale Watson).
- 1984 The Problem of Force: Huygens, Newton, Leibniz, in Leibniz' Dynamica, op. cit., 71-84.
- Yoder Joella G.,
- 1987 Christiaan Huygens' Theory of Evolutes: the Background to the 'Horologium oscillatorium', University Microfilms International, Ann Arbor (Michigan) 1987. [Thèse de Doctorat soutenue à l'University of Wisconsin-Madison en 1985]
- 1988 Unrolling Time. Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature, (Cambridge (Mass.) : Cambridge University Press).
- 1991 Christiaan Huygens' Great Treasure, Tractrix, **III**, 1-13.
- 1996 'Following in the Footsteps of Geometry': the Mathematical World of Christiaan Huygens, In [6], 83-95.
- Yokoyama Masahiko,
- 1971 [La formation de la théorie du choc chez Huygens], Kagaku Kenkyu, **X**, 24-33. [en japonais]
- 1972 Origin of the Experiment of Impact with Pendulums, Japanese Studies in the History of Science, **XI**, 67-72.
- 1974 Huygens and the Times-squared Law of Free Fall, in Proceedings of the XIVth International Congress of the History of Science, Tokyo & Kyoto, 19-27 August 1974, (Tokyo : s.e.), 349-352.