

F. GRAELL I DENIEL

**UNA APROXIMACIÓ A LA FORÇA
ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA**

QUADERNS DE FILOSOFIA

41

F. GRAELL I DENIEL

**UNA APROXIMACIÓ A LA FORÇA
ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA**

41

QUADERNS DE FILOSOFIA

Barcelona 2019

2ª edició: juny 2019 [1ª edició: maig 2015]
© F.Graell i Deniel
ISBN: 978-84-943607-0-1

www.xtec.cat/~fgraell
E-mail : fgraell@xtec.cat

La web permet de baixar la còpia d'un qualsevol quadern editat.
Podeu fer ús de l'adreça electrònica per a qualsevol correspondència amb
Quaderns de Filosofia.

Es prega de tenir en compte sempre de consultar si hi ha una nova edició
(que inclou canvis de vegades prou rellevants) en la web esmentada.

CONTINGUT

Pròleg a la segona edició, 6.

Presentació, 8.

I. UN ESBÓS PRELIMINAR.

§1. Simplificació i idealització en cinemàtica, 9.

§2. Un tot que inclou pensament quantitatiu, 10.

II. QUÈ ÉS UNA FORÇA.

§1. La força: hi ha cos, 12.

§2. El centre de masses, 15.

§3. La força: la segona llei de Newton, 16.

§4. La força: unificació i esquematisme, 22.

§5. La força: la primera llei del moviment, 22.

§6. La força: la tercera llei del moviment, 24.

§7. Nota sobre la força inercial i la quantitat de moviment, 27.

ANNEX 1. DUHEM I EL PRINCIPI DE LA INÈRCIA, 29.

ANNEX 2. EL PRINCIPI D'ACCIÓ I REACCIÓ I EL CONCEPTE DE MASSA, 32.

III. LA COMPOSICIÓ I DESCOMPOSICIÓ DE FORCES.

§1. El paral·lelogram de forces i l'estàtica prenewtoniana, 38.

§2. El paral·lelogram de forces. Composició i descomposició, 45

§3. L'equilibri de forces, 51.

§4. Els problemes físics dels manuals, 52.

IV. LA FORÇA VISTA EN CONJUNT, 54.

Pròleg a la segona edició

El nou lliurament afegeix una secció a propòsit del paper de l'estàtica prenewtoniana en la composició i descomposició de forces, cosa que ha permès fer un cop d'ull al conjunt de l'escrit, que ha dut a una correcció en profunditat de tot el treball.

S'ha introduït nombrosos canvis arreu i s'ha alterat molt els paràgrafs a propòsit de la composició i la descomposició, de tal manera que s'ha tendit a lliurar-ne una interpretació unitària; de fet s'ha col·locat també dins d'un mateix epígraf la composició i la descomposició per tal de reblar llur complementarietat, mentre s'ha deixat sol l'equilibri de forces.

Amb això sembla que ens encaminem a resoldre el fet sorprenent que la força newtoniana treballés com una quantitat que s'introduïa àgilment en tots els problemes i càlculs, com si una cosa pensada des de la segona llei del moviment s'apliqués amb totes les comoditats a un equilibri en una balança, per exemple, i que un hom ho aplaudís sense objeccions. En efecte el camí que mena des de la mecànica prenewtoniana al nostre autor porta precisament a esvair aquella sorpresa.

El replantejament de tot l'apartat a propòsit de la composició i la descomposició ha fet també precisar millor el mateix concepte de força. Aquí s'hi insisteix que els gràfics dels *Principia* exemplaritzen ben bé que es té en compte el cos i el que còmodament anomenem acceleració. Però una tal comoditat pot impedir de comprendre els gràfics que usa el nostre autor, i, gosem suggerir-ho, l'eficàcia de la mateixa noció de força.

Perquè l'acceleració comporta un increment o una minva immediats de velocitat instantània, a comprendre com a velocitat mitjana uniforme, és així com se la presenta en els *Principia*, es fa comprensible quan s'hi estudia la composició o la descomposició, o les mateixes lleis de la mecànica. És així també com un hom assumeix amb tota precisió què és la força: el fet que un cos incrementi o minvi immediatament la velocitat instantània (mitjana uniforme).

Preferim doncs no fer massa ús del mot «acceleració»: la nostra tasca rau a comprendre, àdhuc a arriscar-nos a expressions no habituals.

Ha calgut refer per tant, i de retop, el que s'hi mantenia a les altres seccions, de manera que s'ha hagut de reescriure una colla de paràgrafs al llarg de tot l'escrit.

En resum: és admirable com s'hi fa present la necessitat de correcció d'un treball a partir d'afers que hi tenen poc a veure. Perquè l'apunt a propòsit de la mecànica prenewtoniana, que es volia reivindicar com a suport del convenciment del paral·lelogram de forces, esdevingué de fet el camí que ha dut a haver de retocar del tot la nostra interpretació, de manera que, una vegada més, es descobreix l'originalitat del treball newtonià.

PRESENTACIÓ

La força, tal i com l'estudià Newton, deu ser una de les nocions més rellevants de la física pel fet que se la deu trobar arreu de les seves branques, i perquè es manté com a punt de referència en la comprensió de molts fenòmens naturals.

El quadern persegueix la seva consideració a fi de posar en relleu com s'hi troben compromesos els afers i els esdeveniments concebuts per la força. Certament caldrà alguna remissió a treballs ja efectuats: tanmateix aquí es ressegueix passa a passa les seves facetes, complementàries les unes de les altres.

En efecte les qüestions a propòsit seu s'agombolen: en agafar com a punt de partida una idea nítida de la força, el seu contrast amb els fenòmens naturals provoca fàcilment que un mateix, estranyat del conjunt, es pregunti per allò que es compta en l'esdeveniment; que s'interrogui on és pròpiament la força aquí, com apareix, amb l'afegit que les forces ho fan en els processos gravitacionals, en els mecànics, en els elèctrics, etcètera.

Ens deixarem admirar per la precisió que encaixa una manifestació natural a través d'una molt circumspecta mirada gràcies a la quantificació, quan un hom ja sap que aquesta esdevé una manera de copsar l'ens natural com a tal. Però són molts els aspectes que necessiten també d'un punt d'atenció: per exemple, l'equilibri de cossos sembla un afer prou suggerent quan s'hi mantenen pesos (si fos el cas) sense que hi hagi efectes. En conjunt la composició i la descomposició exigeixen una explicació que vagi més enllà d'una automàtica resultant com si fos quelcom obvi: no oblidem que s'estudia manifestacions naturals.

La força i les seves nombroses facetes desvetllen l'interès de l'individu curiós, i el que s'indica aquí cerca el marc on es troba.

El repte del treball rau doncs a tafanejar allò que en digué Newton, i a procurar de comprendre-ho a partir d'allò que hi ajudi.

I

UN ESBÓS PRELIMINAR

La dinàmica pressuposa la cinemàtica, hi ha una colla de trets comuns a l'una i a l'altra: val la pena de remetre a allò ja tractat en l'estudi corresponent¹, i circumscriure'ns aquí sols a esmentar-ho.

§1. Simplificació i idealització en cinemàtica.

Car fóra bo de recordar aquelles indicacions i de perllongar-les amb d'altres. Per exemple, amb el fet que, quan un hom estudia un moviment, el gràfic, la geometrització i, en conjunt, la simplificació, hi ajuden en diferents sentits. Sens dubte la noció de moviment és adquirida, i n'hi ha de tota mena; històricament s'ha pensat des de formes molt simplificades que fan abstracció de les dimensions dels cossos que es mouen precisament per a provar una aproximació als moviments.

Es tracta que hi ha idealització i simplificació, i alhora es pensa preferentment quelcom a patir d'això. Si la noció d'un moviment uniforme està suggerida pel vol plàcid d'una au, àdhuc – com Galileu – per consideracions derivades de la caiguda i l'ascensió de boles per plans inclinats, i fins i tot per la certesa que el temps físic transcorre amb regularitat, la fixació d'un moviment uniforme (amb la seva simplificació i idealització) palesa quelcom valuós, i profitós per a l'encalç d'altres moviments.

El moviment uniforme és natural en una accepció, i no ho és en una accepció propera: basta que un hom insisteixi en allò que ho suggereix o en allò que el fa quelcom simplificat i ideal.

Per tant hi ha arreu una idealització i simplificació en el sentit de purificar la representació, de treure allò que no és el tema específic,

¹ Cf. *El temps i el moviment elemental* [2ªedició] i *A propòsit de la cinemàtica. Escrits de filosofia de la ciència* [2ªedició] (Quaderns de filosofia 6 i 38).

d'aplicar-hi els trets geometritzants, de fer-ho córrer tal com es pretén, de tal manera que hi ha un tot que un hom se l'afigura o simplement el pensa, que exemplifica una vegada més com es constitueix el saber.

El moviment uniformement accelerat respon així mateix a la necessitat de pensar moviments cada vegada més veloços o més lents, i la quotidianitat en podria suggerir alguns.

La composició de moviments fou la solució si mes no per a algunes experiències comunes (el llançament de fletxes, de bales de canó), amb l'afegit obvi que ha calgut anar provant com pensar-ho. Car hi ha més dificultat en la mesura que allò a estudiar convida menys a un específic tractament, o es lliura menys propens a fer fàcil com comprendre'l.

I la cinemàtica aprèn de si mateixa l'estudi del que es vulgui plantejar pel fet que n'està segura, de si mateixa.

§2. Un tot que inclou pensament quantitatiu.

1. El coneixement cinemàtic inclou les condicions de les observacions, d'ampliar-ho representativament, de cercar condicions ideals i simplificades; i s'hi troba moviment, temps, acceleració, etc., afers que poden quantificar-se. La cinemàtica es una disciplina que parla del moviment i considera quantitats.

L'afer esdevé molt important perquè la cinemàtica *pensa així els esdeveniments naturals*. Hi ha un ús universal de la quantificació, i fóra ben cega sense pensar-hi, en la mateixa quantificació, els esdeveniments naturals. No pot ser quelcom merament resultant d'un càlcul autònom. Quan s'estableix una velocitat mitjana se suposa un compte d'afers naturals tant per al recorregut com per al temps.

El que ocorre no s'escapoleix tal qual del quantitatiu. Arreu hi ha afers que s'hi expliciten. Allò que ocorre és pensat així.

2. La importància de la quantificació és capital. Ho era en Arquímedes i Ptolemeu (i molts d'altres) i ho és des de Galileu. No hi ha cap altra manera més eficaç per a cenyir les relacions d'uns afers amb d'altres (un recorregut amb un altre, una velocitat amb una altra).

S'ofereix com la manera útil de manipular els esdeveniments mentre se sap què passa (hi ha una comprensió quantitativa). Se ceneix així la noció de moviment (amb velocitat) uniforme, es pot pensar en un moviment amb una velocitat instantània mentre s'és capaç de seguir un descabdellament de les relacions de quantitats fins arribar al límit.

La quantificació representa el company inseparable del pensament. Els moviments i les seves propietats (velocitat, acceleració) es troben en l'espectacle que és pensat, o són simplement pensats com a quelcom que ocorre: els papers de l'estudi s'omplen de càlculs, les crosses d'un pensament que pot fer-se inútil sense llur ús, i que rebla un vegada i una altra que la cinemàtica no es troba sols en els nombres, sinó també en allò on s'impliquen.

Al cap i a la fi sols hi ha un coneixement precís per l'estudi quantitatiu: un hom s'acara als esdeveniments naturals i pot comparar allò que ocorre amb allò que hi pensa perquè n'hi ha una previsió més o menys exacta des del conjunt des d'on s'ha plantejat l'afer. Galileu sabia per observació que els cossos baixen per un pla inclinat segons un nombre d'espais proporcional al quadrat de temps: la cerca de com comprendre la velocitat d'un moviment d'aquestes característiques no hauria reeixit sense l'estudi corresponent.

II QUÈ ÉS UNA FORÇA

Les forces són esdeveniments que ocorren (els pesos cauen, les cordes es tiben, les boles xoquen, s'estira un cos, etc.), i un hom s'hi apropa quantitativament.

Es manté les disciplines formals com a fets cabdals, mentre no se les avalua com alienes al món material, sinó com una resultant de complicar indefinidament els aspectes quantitativs dels afers naturals (sempre per això mateix subjectius, funció d'una ocupació).

Es pensa així: hi ha una ambivalència gens perillosa, però fàcilment mal interpretable quan es fa filosofia de la ciència. Perquè el manteniment unilateral en la quantificació la converteix en un afer distorsionador, i l'accent en la cosa i l'esdeveniment natural pot caure en algun excés retòric².

§1. La força: hi ha cos.

En alguna accepció no hi ha cap novetat en la força. L'ésser humà ha experimentat sempre que els cossos cauen, que els xocs impulsen els obstacles, que hi ha tensions i resistències, ha dominat la palanca i les altres màquines, ha parlat de forces.

Es defensà en un altre lloc que és pel coneixement natural que hi ha notícia del cos, pres aquí en l'accepció d'allò que és consistent, que subsisteix, que forma part dels afers naturals i no se circumscriu a ser quelcom subjectiu (hi ha un dèbit). Se l'adjectiva de natural perquè se suposa que es troba en un tot que té un comportament propi més o

² No es deixi passar per alt que, en origen, els afers quantitativs són de les coses mateixes i els esdeveniment mateixos (una rosella, la forma d'aquesta capsula, etc.); l'autonomia de la quantificació va mantenint sempre alguna significació, per a l'ús de les formes, que és una resultant; per consegüent que mai no cal pensar aquesta significació quantitativa de les formes com a incompatible amb els afers naturals: aquella significació, no cal concebre-la aliena a això.

menys reiteratiu. I es parla d'un cos material per allò de què consta («de què està fet quelcom?»): el marbre és la matèria de l'estàtua; i llavors es defensa que hi ha cossos materials i matèria³.

L'aire de densitat doble, en un espai doble, és quàdruple en quantitat. La neu pot comprimir-se i en el mateix espai haver-n'hi més. La quantitat de cos o de massa no és primàriament un mer valor numèric relacional; més aviat reflecteix la certesa natural de la qual parla l'autor anglès: quan es condensa la neu, pressionada, n'hi ha més en el mateix espai – quan es va fent el buit l'aire es rarifica; en general hi ha més matèria quan hi ha més coses. L'experiència d'un món material deu tenir menys a veure amb cap concepció filosòfica, que amb el fet de reflectir la certesa quotidiana de les coses i dels esdeveniment reals.

En efecte la matèria respon a la pregunta “de què està feta alguna cosa”, per tant la resposta remet a un tot específic, o a les seves parts, i en conjunt qualsevol part és material (de quelcom específic), i això pot reiterar-se.

Quan Newton avisa que la quantitat de matèria, que és la massa o el cos, és una mesura que s'origina de la seva densitat i de la seva magnitud està dient potser que la massa depèn de la compressió o rarefacció. Llavors caldria abandonar la insistència d'haver-hi un error perquè la densitat pressuposa la massa.

Més endavant (*Annex 2*) repassarem una mica l'aproximació a la massa des de la tercera llei, en conjunt a propòsit d'un valor relacional. Basti ara la nota present.

Cabdament es tractaria que Newton manté, amb tot el bon sentit, la subsistència de la quantitat de matèria mentre que d'altres anàlisis subestimarien la importància del fet que el saber pel qual es lliura l'afer físic s'ofereix com el més evident i la veritat més ben fundada.

En efecte el cos o la massa en física clàssica s'entén perfectament pel fet que un hom està en contacte amb una realitat material. És cert que, des del primer moment, es va definir com a quantitat de matèria, és a dir, es va defensar que allò que interessava no era el cos sols, sinó en la mesura que podria assumir una expressió quantitativa. Tanmateix no hi ha cap inconvenient quan un hom manté que, amb el quantitatiu, s'hi expressa el mateix ens natural.

³ Cf. *Anotacions marginals als Principia Mathematica de Newton* [2^aedició] (Quaderns de filosofia 14).

Els pressupòsits de la noció de cos o massa en física clàssica semblen doncs molt elementals, i pot semblar banal.

Sí, una quantificació fàcil es troba en el fets, per exemple, que en un volum doble d'aigua hi ha doble massa; o si es premsa la neu hi ha més massa en un lloc que en un altre amb neu no premsada, és a dir, més flonja, d'igual volum.

Ocorre que la quantificació de la massa necessita en conjunt un marc més ampli i àgil; per exemple, aquell pel qual un hom conclou que la relació de masses és com la de pesos, quan s'és sabedor que el pes no és quelcom que calgui incloure en la noció de massa⁴.

I en general un hom introdueix les precisions que calgui en la quantificació que hi ha en la massa segons marcs que acreixen la seva complexitat.

En una altra direcció, la quantificació inclosa en la massa s'ha de calcular d'acord amb la forma del cos, que pot demanar la cerca del seu volum a través d'un tractament quantificador complex analític, de manera que hi ha tot un procés que ha exigít un treball profús.

Tanmateix l'estudi del centre de masses – tot seguit se'n dirà quelcom més – i el centre de gravetat de tots els cossos no es fa sense que un hom pensi tota la cositat en un punt, i demana el càlcul infinitesimal, conjunt que fa que un hom persegueixi així els afers de la natura. Hi ha per tant una activitat paulatinament complexa en el descabdellament de la massa, que es podria anar allargant. Ara basti

⁴ L'esment que l'aparició conceptual de massa rebé una forta empenta a partir de l'observació que un mateix cos pot adquirir acceleracions diferents a través del pes sembla si més no molt suggerent. En efecte les observacions del pèndol hi menen. Tot això ho sap Johann Bernoulli. Huygens, sense tenir el concepte de massa, en treu conseqüències per als moviments dels astres, i és prou sabut que Newton palesà la proporcionalitat de pesos i de masses amb l'ús de materials varis i el pèndol.

Sigui com sigui l'afer mostra que entre l'experiència natural d'un cos i la seva concepció clàssica hi ha una continuïtat que exclou d'altres consideracions.

D'altra banda és obvi que la massa pot seguir els trets habituals (simplificació, idealització, geometrització): tanmateix l'expressió quantitativa de la massa no sembla tal qual un model.

doncs d'admetre que un cos o massa conté una manera de mirar l'experiència natural, que abraça ja en això una visió quantitativa, i que el seu tractament no exclou un tractament analític.

§2. El centre de masses.

El centre de masses deu ser un, entre molts, dels capítols més reeixits de l'encert d'un ús quantificador en profit de permetre de facilitar els problemes, de manipular escaientment els cossos, d'unificar allò que és plural.

Car el centre de masses és aquell punt on un hom podria considerar concentrada tota la massa de tal manera que els efectes globals d'una força sobre seu, per exemple, equivaldrien a la suma dels efectes d'aquesta força sobre cadascuna de les parts.

En el cas (més aviat ideal) d'un cos homogeni un hom el pot cercar per simetria de les parts, quan és possible, o per parts. En molts més casos es tracta de trobar la resultant d'una suma, i llavors es prova d'integrar.

Certament n'hi ha una aproximació experimental [de fet, del centre de gravetat] per la suspensió d'un cos irregular en més d'una direcció.

Tanmateix s'hauria de remarcar dos extrems: la mateixa idea genial de concebre el centre de masses, la riquesa intel·lectual que suposa sempre la integració.

Una tal abundor es troba en els camins que duen a una resultant i, en aquesta mateixa, s'hi treballa perquè és el mitjà per a operar amb la quantificació de tot el que és material. I el càlcul s'encamina també a això.

Sembla que no es podria quantificar mil afer sense el centre de masses.

El centre de masses doncs és una resultant del pensament per la seva concepció malgrat que se'l té com a quelcom capaç d'entrar a formar part de l'expressió d'un esdeveniment d'un cos natural⁵.

⁵ El centre de masses és una manera d'operar, una estratagema, si es vol. No és un model (malgrat que s'apliqui en models) perquè és un tractament: els

§3. La força: la segona llei de Newton.

1. L'encert de circumscriure la força ha depès de saber què es fa, i de fer-ho amb rigor. La quantificació permet apropar-s'hi sense ambigüitats.

Per això no costa d'assumir que la força ocorre en un cos: car els objectes cauen, hi ha xocs, si un hom es manté dins d'experiències fàcils.

La força doncs és primerament un fenomen que s'esdevé en els objectes que cauen, en el cossos que xoquen: és quelcom que ocorre al cos que cau, que xoca. Les forces particulars donen raó d'una força genèrica, i d'una seva definició genèrica, com la que Newton lliura:

«Definició IV. *La força impresa és l'acció exercida en un cos per a canviar el seu estat de repòs o de moure's uniformement en línia recta.*

Aquesta força consisteix en l'acció sola, i no roman en el cos després de l'acció. Però el cos persevera en tot el seu nou estat per la sola força d'inèrcia. I la força impresa té diversos orígens, com són el xoc, la pressió, la força centrípeta».

2. Certament l'encert de la força no rau sols en la seva definició: la quantificació permet el seguiment ajustat del canvi que ocorre.

Per a seguir-ho considerem les paraules dels *Principia* a la segona llei:

«Llei II. *El canvi de moviment és proporcional a la força motriu impresa, i es fa segons la línia recta en la qual aquella força s'aplica.*

Quan alguna força genera qualsevol moviment, la doble generarà el doble, la triple el triple, sigui impresa tota i alhora o gradualment i successivament. I aquest moviment (perquè es determina sempre en la mateixa direcció que la

models més aviat expliquen, conceben geomètricament, o estableixen esquemes formals arbitraris en el sentit que no són estratègies.

En conjunt el càlcul no és model per al coneixement natural, malgrat que una integral, per exemple, és un model en l'accepció que unes altres la poden tenir com un referent. Els models analítics ho són en l'ús intern de la quantificació, no de la realitat material.

força generativa), si el cos ja es movia abans s'afegeix al seu moviment o al que s'avé, se sostreu al contrari, o s'agrega obliquament en l'oblic, i es compon amb aquest segons la determinació de cadascun».

La força motriu és proporcional al canvi de moviment. Com diu, per exemple, la mateixa llei III a propòsit de l'acció i de la reacció:

«Si algun cos xoca amb un altre cos, el moviment d'aquest, per la força de l'altre, canviarà, i el primer alternativament suportarà també en el moviment propi el mateix canvi cap a la part contrària per la força del segon (si hi ha igualtat de pressions mútues). Aquestes accions iguals fan canvis, no de velocitats, sinó de moviments; això és, en cossos no destorbats per quelcom. Així els canvis de velocitats, fets respectivament cap a parts contràries, perquè el moviment canvia igual, són recíprocament proporcionals als cossos. Aquesta llei es manté també en les atraccions, com es provarà en el proper escoli».

A més la segona definició ens diu:

«Definició II. *La quantitat de moviment és una mesura seva originada per la velocitat i la quantitat de matèria conjuntament.*

El moviment del tot és la suma del moviment en cadascuna de les parts; per això en un cos doble més gran, amb igual velocitat, és doble; i amb velocitat doble, quàdruple».

És a dir, els moviments són proporcionals als cossos (a les masses) i a les velocitats. Els canvis de moviment poden dependre d'un canvi de massa i d'un canvi de velocitat.

Allò rellevant es troba en l'aproximació a la força a través d'una quantificació: el canvi de moviment.

3. Deu ser prou difícil de saber com arribà Newton a quantificar la força pel canvi de moviment.

Certament hagués estat impossible de fer-ho sense el domini del que és la velocitat instantània (quelcom que provenia de Galileu) i per tant d'una nova branca de les ciències formals.

I una velocitat instantània s'ha d'interpretar a tall d'una velocitat mitjana uniforme.

La circumstància que un cos aturat passés immediatament a una velocitat donada és allò que anomenem acceleració: en aquest cas la força seria proporcional al cos i a la velocitat engendrada.

Tot això és vàlid en el xoc de cossos, ja hem esmentat la tercera llei, i més endavant n'afegirem quelcom. Si més no els canvis en el moviment són immediats, i en aquest cas els canvis immediats són de les velocitats⁶.

Aquesta immediatesa en el canvi de velocitat, de moviment, i de força, ha de ser ara quelcom a remarcar. Perquè en tots els casos implica un guany o una pèrdua immediats d'una velocitat instantània (una velocitat mitjana uniforme).

En efecte la força motriu impresa depèn del canvi de moviment, per tant del cos i del canvi (immediat) de velocitat, per tant del guany o de la pèrdua d'una velocitat instantània. Si el cos es troba aturat la força depèn del cos i de la velocitat instantània guanyada immediatament (i que anomenem acceleració). Això esdevé de cap a cap revolucionari i nou, sembla prou fàcil de comprendre i d'acceptar, i permet apropar-se a la composició i a la descomposició d'una manera àgil i eficaç. Ho veurem més vall.

4. Un hom podria forçar també una aproximació a la força motriu a partir de la caiguda de cossos.

⁶ En tot això, s'hi agombolen afers diversos que fan sovint que la presentació actual de l'acceleració no sempre sigui naturalment comprensible, i sí que ho sigui formalment: (1) una velocitat instantània s'ha d'interpretar com una velocitat mitjana uniforme. (2) Un cos que surt del repòs, o un cos abans i després d'un xoc, té una velocitat instantània inicial i una final. (3) Per què es considera el canvi de velocitat respecte del temps? Doncs perquè la velocitat en depèn, i cal assumir (des de Galileu) l'homogeneïtat de relacions (dels espais respecte del temps, de la modificació d'aquesta relació respecte del temps). (4) En el cas dels xocs entre cossos Newton no fa cabal del temps, sinó de les modificacions absolutes de la velocitat instantània. (5) Quan s'expressa formalment $\left(\frac{(v+\Delta v)-v}{\Delta t} = \Delta v \Delta t\right)$, i el límit es pensa en una modificació mitjana uniforme de la velocitat, que és el que és l'acceleració instantània (i que és el que Newton lliura com les quantitats de modificació de la velocitat en els xocs).

Els cossos cauen segons un moviment uniformement accelerat. Es pot arribar a comprendre que els efectes⁷ sobre un cos (i això és el que quantitativament recull la força) depenen del cos i del fet d'anar modificant-se constantment i uniformement la velocitat instantània (una velocitat mitjana uniforme).

Però que els efectes depenguin del cos i de l'augment d'aquesta velocitat instantània (velocitat mitjana uniforme) implica que, el cos mantenint-se, l'efecte depèn de l'esmentada velocitat. Però la seva modificació és uniforme i constant; i respecte d'un temps instantani, s'anomena canvi immediat de velocitat instantània (velocitat mitjana uniforme, respecte d'un temps instantani), o acceleració.

D'acord amb això l'efecte immediat (la força instantània) dependrà del cos i d'un tal canvi immediat de velocitat instantània (respecte d'un temps instantani), o acceleració.

En d'altres paraules: l'acceleració és aquí l'augment (o la minva) d'una velocitat mitjana uniforme (respecte d'una velocitat mitjana uniforme), augment instantani en un temps instantani.

5. El canvi immediat de velocitat instantània (respecte d'un temps instantani) o acceleració no pressuposa quin tipus de moviment hi ha: pot ser perfectament, per allò mateix que ho és d'un moviment uniformement accelerat, d'un altre moviment qualsevol on hi hagi alguna modificació de velocitat instantània, i per tant hi podem tenir la força instantània en conjunt a partir seu i del cos en qüestió.

⁷ La referència d'un efecte prové que s'esmenta la gravetat com a força, la causa de la qual no se sap què és; en el cas d'un xoc, un cos causa el moviment de l'impel·lit: resta aturat sense l'efecte del primer, aquest segon rep la força.

Arreu l'experiència natural permet l'esment de causes i d'efectes. Però de vegades no se sap la causa. Independentment d'això la força es coneix pels efectes.

Es tracta que ara hi ha el model d'un esquema formal pel qual es quantifica la força per la massa i el canvi de la velocitat instantània (velocitat mitjana uniforme)⁸.

La fórmula $F = ma$ revela doncs quelcom que ocorre, que serveix també una reelaboració quantitativa prou eficaç, i revela uns efectes quantitativament d'una força instantània.

La fórmula $F = ma$ expressa els efectes resultants, la quantitat implicada, i caldria equiparar ben bé l'ús de ' F ' i l'ús de ' ma '

Tanmateix convé de recordar que allò quantitatiu recull l'entitatiu: la unitat de cos aplega la part corresponent amb totes les seves característiques. El canvi de velocitat instantània és una manera d'apropar-se al que li ocorre, al cos. Ben mirat es tracta d'una quantificació del comportament d'un cos. Es fa important d'acostumar-se a mirar-ho així, com sigui que es té a les mans un seguiment fet amb quantitats mesurades (a través del xoc de les lletilles dels pèndols en Newton), o infinitesimalment, del que s'ha pensat que suggerien els moviments naturals.

6. És sabut que els llibres sistemàtics de mecànica acostumen a expressar la segona llei del moviment com segueix:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \left[= \frac{d}{dt} (m\mathbf{v}) \right].$$

⁸ Parlem d'un esquema formal (o model) perquè es tracta d'un producte. L'habilitat de multiplicar és adquirida i, per dir-ho així, treballa autònomament.

Ahora aquest producte no repeteix sols les unitats del multiplicand com si les del multiplicador fossin recordatoris per a les del multiplicand: es fa el producte d'un cos i d'una velocitat, quelcom que sembla que no tingui sentit, vist des del que és la multiplicació.

El fet deu gaudir d'alguna rellevància perquè compromet també el tipus de pensament que s'acull amb la quantificació de la força (tal qual un particular, o bé un genèric): hi hauria un cos particular i un canvi de velocitat particular (per exemple, en els xocs), ho comparariem i ho multiplicariem. Un tracte amb uns fenòmens naturals que mantenim amb les habilitats quantitatives. La quantificació de la força és doncs tracte natural amb habilitats de càlcul: no és un genèric, sinó quelcom complex, on hi ha observacions, pensaments (amb raons) i càlculs. Potser es parlaria d'una concepció.

Certament una manera escaient de circumscriure la força, i suposa ben bé el que s'ha dit dalt. La segona llei, tal i com Newton la redactà, explicitaria el canvi en la quantitat de moviment (una aportació del savi anglès).

L'aproximació pel canvi en la quantitat de moviment permetria, ja ho hem insinuat, de concebre també dues acceleracions instantànies (guany o pèrdua de velocitat instantània) des de les quantitats de moviment dels cossos que xoquen (en un pèndol, per exemple, tal i com féu Newton), que deuria contribuir – amb l'acceleració gravitatòria (guany o pèrdua immediata d'una velocitat instantània) – a la configuració de la força.

7. Afegim una breu consideració a propòsit de com interpretar una llei.

Sembla que no hauríem d'apropar-nos a una llei des de la seva formalització com si fos aquesta per si mateixa la que l'avalés. Car aquella formalització ho és dels casos susceptibles de fer arrencar una consideració numèrica que hi dugui.

En efecte dues ampolles iguals plenes d'aigua pesen el doble que una sola, i hi ha doble aigua.

Ben mirat l'avaluació aquí particularitzada lliura una relació fixa estàtica.

Això és estrictament així sempre: ocorre que la formalització de la llei ho esvaeix.

Perquè (referits ara a $F = ma$) certament cal un efecte doble d'una acció per a aconseguir el mateix augment o minva immediat de velocitat d'un cos doble que un altre, els dos partint del repòs.

Però això caldria portar-ho més enllà: car continua quan un hom estableix doble augment o minva de velocitat instantània per a un cos doble, i quan l'afer es resol pel fet que hi ha un efecte quàdruple.

Cada relació individualitzada de cossos i d'increment, o de minva, de velocitat val tal qual. La llei formalitza aquest fet.

La indicació deu ser rellevant a l'hora de tenir present l'observació empírica que dóna raó de la força.

§4. La força: unificació i esquematisme.

La consideració de les quantitats explicitades en la segona llei de la mecànica pressuposa que un hom es mou còmodament a l'hora d'assumir centres de masses. Els canvis de velocitat en un cos demanen que els efectes de la força es palesin en aquest cos: tanmateix això no es podria fer efectiu d'aquesta manera simple sense una prèvia unificació de la massa en el centre de masses (i de gravetat, si és el cas).

En d'altres paraules: *la simplicitat de la noció de força es palesa en conjunt com la conseqüència d'una unificació feta molts segles abans* (no, certament, com a centre de masses, però sí com a centre de gravetat).

L'afer permet esmentar d'altres aspectes: per exemple, deixa entreveure que la força ja suposa sovint un esquematisme (en l'accepció de direccions i sentits que l'estudiós selecciona). Hi ha un esquematisme molt eficaç: més endavant en direm alguna cosa.

Llavors un hom assumeix la totalitat del cos, que estima amb parts, a través de pensar-les unificades en un lloc – o assumeix direccions i sentits amb un respectiu augment/minva de velocitat tot pensant unificadament un tot de cos i d'augment/minva de velocitat: en ambdós casos no hi ha una desnaturalització, sinó un pensar allò natural de manera que s'unifica el que és una multiplicitat, i s'esquematitza.

Dalt s'ha esmentat que la unificació pel centre de masses (i de gravetat) no sembla un model, i tampoc no ho sembla aquest esquematisme: caldria estimar-los una estratègia quantitativa, que pot descabdellar-se amb l'ajut de la geometria. Per això no afecten la mateixa concepció de la força, que inclou de fet, en el seu efecte quantitatiu, un model formal.

§5. La força: la primera llei del moviment.

¿És experimental el principi de la inèrcia? Si més no té un fonament experimental en l'accepció que s'assumeix que no es pot assimilar una causa al moviment progressiu de projectils, àdhuc

admetent llur desviació constant degut a la gravetat; o al moviment d'una baldufa que giravolta, o al moviment de la bola que va rodolant al llarg d'una superfície a continuació de baixar per un pla inclinat, etc., fins i tot, si es vol així, a la progressió del moviment de planetes i cometes que va essent contínuament desviat.

En efecte hom admetria el principi inercial per a les coses que es llencen, que es fan rodolar o giravoltar, i que s'aturen degut a les resistències de l'aire i del terra: se l'assumiria en tant que es palesaria que no cal cap més explicació de la conservació del moviment.

Encara més: es podria defensar que el principi de la inèrcia és molt més ajustat a l'observació que una teoria aristotèlica sobre els canvis o que la mateixa doctrina – al capdavall ortodoxament aristotèlica – de l'*impetus*.

Llavors la defensa de la continuïtat del moviment si no hi hagués resistències, i si no hi hagués gravitació, és imaginada o pensada (hipotètica) en la mesura que no hi ha *de fet* un tal moviment en les exemplificacions tòpiques (boles, fletxes, etc.); una idealitat en tant que hom la formula, i ho fa d'acord amb un patró que postula la continuïtat indefinida del moviment; en qualsevol cas, ja per a llevar-hi cap causa com per a explicar-hi que el moviment no es mantingui indefinidament o no s'hi mantingui en línia recta, s'hi palesa el domini del que s'ha après de les causes i dels efectes.

Però l'adjectivació d'uniforme suposa una convergència de continguts pensats en tant que el moviment uniforme n'és, de pensat: el principi de la inèrcia palesa doncs un tal domini conjunt d'afers.

Sembla tenir doncs una base experimental, i resta idealitzat en tant que se'l pensa independentment dels avatars naturals.

Tanmateix els historiadors de la ciència semblen haver-se posat d'acord en la defensa que el sentit comú avalaria un principi de causalitat aristotelitzant, i no pas el moviment inercial dels cossos; Galileu hauria llevat el motor que manté els moviments inercials després d'un laboriós treball intel·lectual amb plans inclinats i d'acord amb una teoria física dels cossos que els fa indestriables del pes: si la gravetat accelera el cos en la caiguda d'un pla inclinat, i és la responsable d'aturar la pujada de la bola que n'agafa la costa amb embranzida, llavors no hi ha causa, més enllà dels ròssecs, de canvi en

el moviment d'un cos que ni puja ni baixa. Consideracions d'aquest tipus, les que portarien a l'admissió de les lleis cartesianes del moviment, i totes aquelles que menarien a unes resultants equivalents, no haurien d'impedir de distingir entre les dificultats que explicarien els obstacles per a abraçar això o allò, i que sovint es troben en un mateix, pels quals «veu» quelcom (o «no veu» quelcom), i els viaranys que ha seguit (i dels quals s'adona *a posteriori*) per tal d'observar altrament els afers. Perquè tant la causalitat aristotelitzant com el moviment per inèrcia s'ofereixen com a «maneres de veure» els esdeveniments, però no sembla que la segona s'ajusti menys als fets que la primera: més aviat cal negar que totes les formes d'observar el que ocorre valguin igual o siguin igualment respectuoses amb allò que s'observa, i és possible de notar més distorsió en el parer d'una causalitat que demana sempre motor per al moviment que en l'altre parer, cosa que explicaria la fortuna d'aquest últim i les successives revisions del que porta a seguir el moviment de projectils en el primer.

El principi de la inèrcia participa doncs de les característiques de les altres parts del saber: un hom observa, presumeix que hi deu haver diferents factors a tenir en compte, en lleva alguns (simplifica així), aventura un esdeveniment, tot plegat quelcom que ja necessita una quantificació, que a més a més ja compta si més no amb la idealització geomètrica, i llavors el principi assumeix tot un saber l'origen del qual es troba en la natura, que el pensament de l'home perllonga per tots cantons per tal de tenir una comprensió reeixida, una manera d'anar pensant coherentment, que no s'oposa a l'experiència natural. Per això es defensa que el principi de la inèrcia és un principi que hi té les bases, en aquesta experiència.

§6. La força: la tercera llei del moviment.

Hem apuntat ja la importància de la tercera llei.

1. Prengui's el cas de dos cossos rígids que xoquen.

Es manté el principi de la inèrcia per al repòs i per al moviment uniforme, i els efectes amb repercussions quantitatives per al canvi de moviment ve de les interaccions entre cossos.

Dalt ja s'ha citat part del text de la llei, on es defensa que els canvis produïts pel xoc no comporten que els canvis de les quantitats en les velocitats siguin iguals, però sí que s'acompanyen d'una igualtat «en els moviments dels cossos» (Newton), és a dir, tenint en compte els canvis de les quantitats en les velocitats instantànies, i tenint en compte cadascun dels cossos; un tot on els canvis de les quantitats en les velocitats, fets en direccions contràries, són inversament proporcionals a la quantitat de cos de cadascun.

Això vol dir que la quantificació de la força està pensada de manera que es manifesta en la interacció dels cossos (circumscriuem-nos al xoc entre cossos) una igualtat quantitativa d'efectes: palesa que en els intercanvis entre cossos no es perd res ni es guanya res en conjunt, mentre hi ha canvis i les corresponents quantificacions; i que en els efectes quantitius lligats al cos i que s'impliquen en l'augment o disminució immediats de la velocitat instantània (velocitat mitjana uniforme) no hi ha guany i no hi ha pèrdua quantitativa.

Per això cal enllaçar la quantificació d'un cos i l'increment o minva de velocitat.

Sens dubte tot això demanaria més consideracions (per exemple, en el cas de l'estudi de Newton del xoc de dos cossos que fan de lletilles dels respectius pèndols, la proporcionalitat de la velocitat amb els arcs recorreguts⁹): no es tracta de simplificar el conjunt dels afers, però sembla segur que reblen el que s'hi defensa des del punt de mira de les relacions quantitatives.

2. Llegint tot el text del tercer axioma o llei del moviment es palesa, en els exemples amb què es redacta (s'arrossega, es comprimeix, s'ensopega), que la mirada newtoniana observa la

⁹ Cf. *Tres assaigs de mecànica newtoniana* (Quadern de filosofia 52).

natura¹⁰. La mateixa apel·lació a la massa i al canvi de la velocitat rebla l'efecte natural de la força.

Perquè una tal naturalitat de la força resta indicada pel fet que se la quantifica a través de quelcom palès, el cos; i a través de l'acreciment o de la minva d'una velocitat mitjana uniforme i límit, i que s'incrementa o minva immediatament. El càlcul infinitesimal vol convergir des d'una noció de velocitat com a relació d'espais i de temps (tots plegats moviments), capaç de mesurar esdeveniments naturals, a quelcom que rau en el càlcul, i que permet suposar mesures experimentals (per exemple, la velocitat de la llentilla en un punt de l'oscil·lació). D'aquí una velocitat instantània, que és una mitjana uniforme, i el seu augment i minva. S'atén allò natural doncs en l'accepció que, la força, la provoquen els esdeveniments naturals (la caiguda d'un cos, per exemple), i en la que l'estudi infinitesimal té el seu origen en relacions d'afers naturals que es duen endavant d'acord amb la manera que s'ha après, des de la representació, la coherència a seguir. La velocitat instantània (mitjana uniforme) no és res més. És clar que aquesta velocitat instantània no serviria de res, i seria sols una velocitat uniforme més (és una velocitat mitjana uniforme), si no hi penséssim un increment o minva immediat (mireu com xoquen les llentilles dels pèndols o el sentit que ha de tenir un moviment de caiguda): tot s'ha derivat de l'observació i de la representació, però s'ha dut endavant a través de tot allò que un hom pot anar treballant des del que ha après. I això és escaient per a una qualsevol força, i molts afers en reblen l'encert.

Alhora l'escolí als axiomes, una mena de recull de notes que corroboren el tercer axioma, aplega exemplificacions de tot tipus a més a més del cas de la col·lisió elàstica de dos cossos en un pèndol: ho fa respecte de les atraccions, i respecte de les màquines (balances, politges, rodes de rellotge, cargols, cunyes).

¹⁰ Quan s'actua sense que hi hagi un moviment patent (per exemple, perquè un hom es recolza en una paret, o el simple fet d'estar dret), això més aviat reblaria la naturalitat de la força, el fet que els seus efectes són neutralitzats sense que desaparegui. Les forces estan compromeses amb realitats que canvien d'estat, sense que hagin de mostrar sempre la seva eficàcia d'una manera determinada.

Ben bé deu haver-hi hagut camins d'anada i de tornada en la ment del geni anglès. És important, tanmateix, d'admetre que la troballa del principi d'acció i de reacció, si és veritat que es tracta de quelcom pensat genèricament (i així expressat), ho és perquè les experiències hi donen peu, és a dir, perquè ha estat possible des d'aquestes d'acord amb una elaboració complexa.

Aquell que l'ha comprès, el principi, el troba la manera encertada de considerar el que passa quan s'arrossega quelcom, quan es pitja una pedra, i quan dues boles ensopeguen, i més aviat pot estranyar-se que els humans no haguessin pensat sempre així els afers. Per això l'aportació de Descartes, i sobretot de Newton, s'estima extraordinària.

§7. Nota sobre la força inercial i la quantitat de moviment.

Des d'un punt de mira la força inercial o ínsita¹¹ es palesa en els efectes que hi ha en alguna interacció entre cossos pel fet que algun d'aquests es trobi en repòs o en estat de moure's uniformement en línia recta.

Establert que hi ha una acció i una reacció, és a dir, uns efectes, amb la novetat que el principi estipula la igualtat quantitativa resultant

¹¹ «Definició III. *La força ínsita de la matèria és la potència de resistir per la qual cada cos, tanta com en té, persevera en el seu estat o de repòs o de moure's uniformement en línia recta.*

Aquesta força és sempre proporcional al seu cos, i sols difereix de la inèrcia de la massa per la manera de concebre-la. Per la inèrcia de la matèria és que tot cos abandoni amb dificultat el seu estat de repòs o de moviment. Per la qual cosa la força ínsita pot dir-se també, un nom prou significatiu, força d'inèrcia. Però el cos exerceix aquesta força sols en el canvi del seu estat per una altra força en el cos feta impresa. Aquest exercici és, des d'un consideració vària, ara resistència ara ímpetu: resistència perquè el cos, per a conservar el seu estat, es resisteix a la força impresa; ímpetu perquè el mateix cos, la força resistent de l'obstacle cedint posant-hi dificultats, intenta canviar l'estat d'aquest obstacle. La gent atribueix la resistència als cossos en repòs, i l'ímpetu als mòbils: però el moviment i el repòs, com són concebuts per la gent, es distingeixen sols l'un respecte de l'altre; i no sempre reposen de debò les coses que la gent mira com en repòs».

«en els moviments dels cossos», els efectes de l'acció i els de la reacció en el xoc entre dos cossos amb aquells moviments, o un aturat i l'altre amb aquell moviment, es poden llegir a tall d'impulsos o de resistències.

La definició de quantitat de moviment per les quantitats de cos i de velocitat es fa també aquí del tot útil, i tant se la pot usar a tall d'un supòsit d'un cos amb una velocitat uniforme, per tant com una concreció quantitativa del principi de la inèrcia, com a tall d'una força inercial convenient en totes les interaccions, i que permet suposar canvis instantanis de tota mena de velocitat.

ANNEX 1. DUHEM I EL PRINCIPI DE LA INÈRCIA

1. Pierre Duhem – donant suport en això a H.Poincaré (*Sur les principes de la mécanique*) – plantejà un afer molt diferent: el principi de la inèrcia no gaudiria de cap sentit experimental pres aïlladament (sí que en tindria com a element del conjunt de les hipòtesis de la mecànica). No tindria sentit comparar-lo amb els fets. Perquè sols podria ser formulat així prenent d'origen algun lloc no relatiu (i.e. la hipòtesi d'un moviment uniforme en línia recta pressuposa que es fa en un espai absolut): però això és impossible.

«En résulte-t-il que ces hypothèses, placées hors de l'atteinte du démenti expérimental direct, n'aient plus rien à redouter de l'expérience? Qu'elles soient assurées de demeurer immuables quelles que soient les découvertes que l'observation des faits nous réserve? Le prétendre serait commettre une grave erreur.

«Prises isolément, ces diverses hypothèses n'ont aucun sens expérimental: il ne peut être question ni de les confirmer, ni de les contredire par l'expérience. Mais ces hypothèses entrent comme fondements essentiels dans la construction de certaines théories, de la Mécanique rationnelle, de la théorie chimique, de la Cristallographie; l'objet de ces théories est de représenter des lois expérimentales; ce sont des schémas essentiellement destinés à être comparés aux faits»¹²

Duhem pot assumir que el principi de la inèrcia és independent dels fets i alhora que, en connexió amb d'altres hipòtesis, dreci un fonament que permet una deducció d'un cos teòric capaç de ser comparat amb les lleis experimentals, perquè defensà per a la matemàtica la construcció d'un univers simbòlic que sols a través d'una traducció es posa en contacte amb les magnituds físiques. Hi ha una peculiar visió de la matemàtica.

¹² P.Duhem, *La théorie physique. Son objet et sa structure*, Chevalier & Rivière Éditeurs, Paris 1906 (Bibliothèque de philosophie expérimental), pàg.354.

Tanmateix el bandeig d'aquesta prevenció d'una exclusió característica de la matemàtica deixaria palès que hi ha la circumstància colpidora que la deducció a partir d'hipòtesis independents dels fets hauria de permetre una comparació experimental pels fets. Bandejada la prevenció un hom no podria al·legar el divorci que proposa l'autor de la matemàtica i de la resta d'afers, i una posició com la de Duhem semblaria més aviat incongruent; versemblantment es tornaria a un plantejament enraonat quan s'admetés que les hipòtesis mecàniques són suggerides per fets i per experiments elementals en el sentit que s'ha comentat en el text.

La interpretació de Duhem (i dels que el segueixen) manté el principi en allò que té d'ideal (un moviment uniforme, que es perllonga més i més, lineal, numèric, etc.) i hi roman de manera exclusiva.

Defensà¹³ que, des del punt de mira del sentit comú, hi hauria un suport a la dinàmica d'Aristòtil en detriment de la de Descartes i de Newton.

Alhora¹⁴, i en una direcció que sembla oposada a l'anterior, advocà per una doble circulació entre el que és l'experiència immediata i oberta al sentit comú, i l'àmbit de la representació esquemàtica regida per les fórmules matemàtiques, i arribà a dir que *«nous l'avons dit à plusieurs reprises: Ces certitudes et ces vérités du sens commun sont, en dernière analyse, la source d'où découle toute vérité et toute certitude scientifique»*¹⁵.

2. Si s'hagués d'admetre que el principi de la inèrcia no és suggerit pel fet de pensar del dret i del revés una experiència natural, per tant compresa, versemblantment Galileu no l'hauria fet present en els seus estudis, ni Descartes l'hagués formulat.

Per tant deu tot el que és a l'experiència material i al fet de pensar.

En efecte la imaginació i el pensament poden dur a molts afers des de la simplicitat i la geometria, i àdhuc permeten de superposar els

¹³ Ídem, pàgs. 427-437.

¹⁴ Ídem, pàgs. 437-445.

¹⁵ Ídem, pàg. 436.

moviments que es vulgui, tots afers que s'ajusten, si es vol, quantitativament.

La defensa de no ser un principi extret des de l'experiència perquè llavors seria relatiu a un esdeveniment donat no té en compte que un qualsevol saber humà és condicionat en l'acceptió que el coneixement és sempre limitat, que un hom és capaç de fer abstracció d'això o d'allò i d'estendre la seva validesa en d'altres circumstàncies, i considerar encara més assumptes.

Se'l manté doncs mentre ajuda a ajustar observacions i pensament.

ANNEX 2

EL PRINCIPI D'ACCIÓ I REACCIÓ I EL CONCEPTE DE MASSA

1. Segons sembla avui plau d'oferir un concepte de massa a partir sobretot del principi d'acció i de reacció o, si es vol així, aquest principi esdevé útil per a circumscriure una elaboració del que cal entendre per massa, sobretot a partir del fet que es jutja inadequada la definició newtoniana de quantitat de matèria.

Noti's que es tracta d'una manera molt convenient d'introduir-se amb eficàcia en aquests temes, i és molt possible que, segons quines siguin les finalitats, no calgui més circumscripcions.

En efecte els cossos que es diuen d'igual massa foren aquells en els quals els efectes de les seves mútues relacions en xocs lineals frontals procurarien increments immediats contraris de velocitat¹⁶ amb iguals nombres absoluts.

Això s'estendria per a cossos els efectes de la mútua relació dels quals en aquests xocs fossin increments immediats absoluts desiguals de velocitat: pres un dels cossos com a unitat, un hom adscriuria a un altre cos la massa m quan el primer cos augmentés la seva velocitat m múltiples vegades el que ha augmentat la velocitat del segon cos. La relació de masses seria la relació inversa dels increments absoluts immediats de les velocitats uniformes oposades.

Un tal camí podria perllongar-se per tal de trobar una unitat convencional de massa, i d'aplicar-ho a una diversitat de situacions.

Un avantatge subsidiari de la presentació de la massa per la relació entre els canvis immediats de velocitats rauria que evita la pressuposició d'una mesurabilitat de cossos diferents amb la mateixa massa, és a dir, que hi hagi alguna cosa així com quelcom capaç de fer-se indiscernible per a diferents cossos. Alhora ho pressuposaria potser la mera comparació de pesos $p/p' = m/m'$, en l'accepció d'una possible comparació entre objectes naturals diversos (hi hauria quelcom que els faria comparables).

¹⁶ Es tracta sempre de la velocitat instantània entesa com a límit d'una velocitat mitjana uniforme, tal i com hem anat insistint en el text.

2. La presentació de la massa a partir del principi d'acció i reacció fóra l'habitual, lleva les dificultats procedimentals d'altres presentacions i en permet una definició.

Car un hom escull allò que sembla que no pressuposa més afers o, si més no, que no suposa quelcom no establert abans.

L'encert d'una aproximació a partir dels canvis immediats de les velocitats en la relació entre dos cossos implica, quan un hom s'hi apropa, que calen aquests cossos-individus (a diferenciar dels cossos-masses), les quantitats de matèria dels quals són iguals quan els canvis en les velocitats són iguals, que hi ha una relació inversa a la d'aquests canvis quan és el cas. El que s'anomena la massa (i les seves relacions) es troba en relació inversa als canvis absoluts de velocitat, i precisament expressa aquest fet.

El supòsit que les quantitats de massa provenen de les relacions entre els canvis de velocitat no impedeix de fer observar que les velocitats, abans i després, tenen la implicació dels cossos-individus, i que el conjunt del fenomen esdevé un procés de cossos i de velocitats.

De bell nou la circumstància de l'origen de l'oportunitat d'atribuir una quantificació a la matèria no lleva que sols és possible pel fet que hi ha cossos-individus i que al cap i a la fi el que es fa és una quantificació que implica aquests cossos a partir dels efectes motors que s'hi troben en les seves relacions. No es perd pas el contacte amb el fet natural en cap moment.

La presentació de la massa des del principi d'acció i reacció reïx en les seus objectius de coherència. I no pot fer l'impossible: no pot no implicar els cossos a partir de la quantitat mesurada des dels efectes motors.

3. Des del punt de mira del cos-individu sabem, per exemple, que la relació de pesos esdevé una relació de masses en la balança, i un hom podria trobar-ne una relació a partir de considerar la massa d'una pes com a unitat. Això es trobaria d'acord amb una aproximació de la massa a partir de la tercera llei.

És segur que Newton no pensà la massa només com una valor numèric que relaciona canvis immediats de velocitats, ni com un valor numèric relacional entre les masses dels pesos.

Si més no els *Principia* estableixen que el canvi de moviment (que inclou massa i velocitat) és proporcional a la força motriu impresa (segona llei). Idees d'aquest tipus es troben també a d'altres llocs, per exemple, quan es discuteix el moviment de cossos pendulars (cf. valgui el cas, la proposició II,24; i tot el que hi diu, al tercer axioma o llei del moviment).

És a dir: es treballa sempre pressuposant que un hom ja gaudeix del cos-massa. Això és evident quan explica la tercera llei, i de fet és perquè gaudeix d'una relació de cossos-massa, i de velocitats, que verifica la llei.

Quan Newton diu que la quantitat de matèria dels cossos són com els pesos (cf. els corol·laris de la proposició II,24, o també la proposició III,6) suposa forces impreses, és a dir, que hi ha cossos-massa i gravetat.

Tant en els xocs com en els afers gravitatoris s'hi pensa cossos-massa, tal i com ell ho entén, d'acord amb una certa comprensió a partir dels exemples que lliura en la definició de cos. I l'experiment dels dos pèndols que fan oscil·lar or i fusta (proposició III,6) deixa palès que col·loca pesos iguals en els dos pèndols per a comprovar que oscil·len igual.

En d'altres paraules: la circumstància que la relació de pesos i de masses s'expressi numèricament no lleva que Newton avalua que està lliurant una quantificació directa (malgrat que relacional) del pes i de la massa.

4. La circumstància que la defensa d'una atribució d'una quantitat als cossos-individus, des de les vicissituds que es vulgui, hagi de comportar que hi hagi quelcom comparable en aquests cossos, sembla certament que convidi a avaluar les quantitats de massa sols com a una explicitació de relacions entre canvis de velocitats.

Tanmateix aquells cossos deuen ben bé tenir quelcom comparable quan la certesa que són naturals independentment del seu observador mereix adjectivar-se com la més segura: ¿hi ha res més segur que el fet d'haver-hi cossos-individus?

La dificultat de saber què tenen a confrontar dos o més d'aquests cossos, que no gaudeixen de cap altra comparació que no sigui el fet

de ser-hi naturalment, no lleva, sembla, que un hom no hagi d'esforçar-se a dar-ne alguna indicació.

Pel cap baix deu poder-se defensar que, des dels milesis fins als investigadors d'avui dia, s'ha estimat que hi ha quelcom corporal, material, que s'escampa per arreu. Mentre el subjectivista tendeix a infravalorar l'objectivitat d'aquest plus que no pot ser reduït a sensacions, se'l rebut quan es fa patent que les sensacions semblen més aviat una resultant analítica i quan s'assumeix sense més que a través de l'observació es lliura l'objecte en persona, on s'hi palesa un dèbit que implica que no es tracta merament de l'exercici d'una subjectivitat sinó d'un fenomen primer original des del qual s'ofereix precisament l'espectacle d'un univers material¹⁷.

És obvi que aquest «hi ha matèria» o «hi ha cossos-individus» no proporciona cap mes coneixement. La certesa d'aquests cossos es limita a la constatació que no hi són com a meres recreacions perceptives. Per això l'investigador sempre està de camí, la realitat física demana més i més recerques.

Si el dèbit sembla incapaç de garantir cap cosa «comuna» per a la comparació, també s'hi val que no en prohibeix una relació, o no ho impedeix¹⁸. La mateixa possibilitat de lliurar una quantitat als cossos naturals des dels canvis de velocitat mentre un hom s'adona que té

¹⁷ Cf. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part primera: La tesi de l'actitud natural i la seva desconexió i Introducció a la filosofia* (Quaderns de filosofia 12 i 50).

¹⁸ En tot això hi hauria també un malentès, del qual participaria la presentació de la massa a partir dels canvis de velocitat en els xocs. En efecte la relació de masses és, en aquest supòsit, una relació entre canvis de velocitats; per dir-ho així: es tracta d'una relació de nombres, que fóra bo de transposar com a raons entre els canvis de velocitat.

Doncs bé: caldria tenir present que cada unitat d'un mesura de trajecte o de temps tampoc no es dissol amb la següent, no conté res que pugi afectar l'altra, no hi ha res «comú».

Però és que això és vàlid arreu: no hi deu haver afer en el coneixement que sigui quelcom que pugui dissoldre's amb un altre afer. Potser «comú» deu voler dir «com si fos u», i sense ser-ho.

Per això no s'hi troba cap inconvenient a assumir que el dèbit de coses plurals està en relació. Fet i fet cap raó humana no pot dissoldre la pluralitat.

cossos a les mans deixa presumir que aquests cossos són comparables malgrat que no més coneguts, i per això convida una vegada més a prosseguir la recerca.

En tots els casos es tracta de comprendre què s'esdevé en afers naturals i com ocorre: el principi d'acció i reacció compromet els canvis immediats de velocitat i els cossos. I certament la investigació no s'atura aquí.

5. La utilitat de considerar la massa com un valor relacional no hauria d'impedir doncs el fet de comprendre que un hom s'atansa als cossos naturals.

A més es podria objectar que, amb la força, s'hi pensa quelcom natural (i possiblement l'element bàsic): es compromet la mateixa noció de força quan se la fa quelcom que sembla que afecti els canvis de velocitat dels cossos a través d'uns valors relacionals. I s'esvaeix el dinamisme natural.

En efecte l'objecció apunta que la força no sembla cap noció que derivi del producte del canvi de velocitat i un valor relacional, sinó un acció exercida que canvia l'estat de repòs o de moviment d'un cos i, com a conseqüència d'aquesta acció física, l'individu s'apropa a una quantificació dels canvis i del cos.

S'afirma doncs que un hom pot anar a la quantificació de la força des del canvi, i des del cos (el mateix Newton degué recórrer molts camins intel·lectuals per a relligar les bases de la dinàmica); que el producte de canvi i de cos palesa la quantificació de la força. Car seria aquesta la que lliuraria la significació al producte i no els seus factors presos aïlladament: aquests no ho podrien fer perquè ignoren què és una força, i la força és un fenomen eficient i eficaç, amb un contingut propi, insubstituïble, a través del producte de la massa i del canvi de velocitat, i fa d'autèntic motor de les investigacions naturals.

6. El dèbit que fa parlar d'un entorn independent, la circumstància que se l'adjectivi de material pel fet que gaudeix de parts, l'admissió que no se'n sap res més fora del tracte de cada dia, etc., fa obvi el següent: un hom ha gosat establir el principi d'acció i de reacció quan ha assajat d'anar resseguint de la manera possible les accions i les

reaccions dels cossos, tal i com ho deixà iniciat Newton. Potser caldria afegir que «*dies lehrt aber die Erfahrung*»: cal l'experiència, i aquí se subratlla la de caràcter material.

L'adjectiu «material» fa esment a la partibilitat d'allò que es jutja independent, i al cap i a la fi inicia amb això el seu significat: allò que se'n sap va essent quelcom natural o una recreació a través d'un qualsevol experiment, amb l'ús dels aparells que calgui, amb el pensament del qual un hom sigui capaç.

III

COMPOSICIÓ I DESCOMPOSICIÓ DE FORCES

En el moviment de projectils hi ha sens dubte un apropament segons una manera de copsar els afers: no són incompatibles el que es veu i el pensament quan s'admet que un hom observa i s'esforça a comprendre. Què ocorre? ¿Es tracta de dos moviments o d'un de sol? El fet és que és un moviment i que, si es pot parlar així, aquest moviment únic en conte dos perquè són dos els fenòmens naturals que manifesta. Però això vol dir que un hom el compon d'acord amb una previsió justament per a aproximar-s'hi, i comprendre'l¹⁹.

§1. El paral·lelogram de forces i l'estàtica prenewtoniana.

1. Una força subsumeix una quantificació implicada en la massa i en el canvi de velocitat. D'això resulta que n'hi ha una representació gràfica proporcional a aquella quantificació a representar en una direcció d'aplicació²⁰.

¹⁹ Es podria defensar que es parametritza un sol moviment d'acord a dues funcions que depenen del temps. Es llevaria l'aspecte qualitatiu d'haver-hi dos moviments i s'hi deixaria els mateixos afers quantitius: però això no tindria massa sentit sense el punt de mira de la comprensió física.

D'altra banda el moviment de projectils no s'estima, una vegada comprès, com si no fos la composició de dos moviments, és a dir, com si no s'oferís com un moviment fictici en l'accepció que només revela els corresponents moviments naturals.

²⁰ Aquesta proporcionalitat s'ha de copsar amb el conjunt de la quantitat que representa una força, o a les quantitats implicades en les velocitats quan es tracta d'un mateix cos. L'afers es fa força rellevant. Mach, a propòsit de la composició, ho diu prou explícitament: «*Wenn ein Körper A von zwei Kräften ergriffen wird, deren Richtungen mit den Linien AB und AC zusammenfallen und deren Grössen den Längen AB, AC proportional sind, so sind beide Kräfte in ihrer Wirkung durch eine einzige Kraft ersetzbar, welche nach der Diagonale AD des Parallelogramus ABCD wirkt und*

Després s'indicarà que és també aquesta la manera amb què Newton presenta la composició i la descomposició de forces. Car les línies del paral·lelogram representaran espais proporcionals a les acceleracions d'unes forces aplicades a un mateix cos, i per tant proporcionals a aquestes forces.

2. Un dels molts fenòmens sorprenents de la concepció de la força de Newton es troba en el fet que pogué assumir sense dilació les forces, els pesos i les potències de la mecànica (amb l'estàtica) dels seus contemporanis i de la tradició. És a dir, tot el que ja es coneixia de les moltes màquines i de les propietats de forces, pesos i potències, va poder ser assimilat, gairebé, es podria afegir, de manera immediata, a les propietats de la força newtoniana.

derselben proportional ist. Würden also z.B. an Schnüren AB, AC Gewichte ziehen, welche den Längen AB, AC proportional wären, so würde ein an der Schnur AD ziehendes, der Länge AD proportionales Gewicht deren Wirkung ersetzen. Die Kräfte AB und AC werden die Komponenten, AD die Resultierende genannt. Selbstverständlich ist auch umgekehrt eine Kraft durch zwei oder mehrere Kräfte ersetzbar» (Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1991 [reproduceix la novena edició feta a Leipzig el 1933, 1^a 1883]. pàg.34). Més avall, en una nova presentació del diagrama de forces i quan es tracta d'un mateix cos, afegeix que «les acceleracions són proporcionals als trajectes recorreguts en el mateix temps» (cf.pàg.192), en la línia que defensà el mateix Newton en el corol·lari primer a les lleis del moviment.

L'autor, més enllà de qualsevol presentació geomètrica (resum la de Bernoulli) i deductiva, defensa encertadament l'origen observacional de la magnitud i de la direcció d'una força, del coneixement del cantó on recauen els efectes motors d'una força aplicada esbiaixadament a la direcció del moviment, de la quantitat d'aquests efectes motors ($P \cos \alpha$), de la mateixa composició de forces («*derjenige, welchem die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte bereits geläufig ist, weiss, dass mehrere an einem Punkt angreifende Kräfte in ihrer Wirkung in jeder Beziehung und nach jeder Richtung durch eine Kraft ersetzt werden können... Das kann aber nur derjenige wissen, der schon eine sehr ausgedehnte Erfahrung über die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte gewonnen hat*», pàg.42), i de la independència de les forces concurrents (cf.pàgs.34-45).

Es podria suposar si més no que l'assumpció del pes d'un cos per la força de la gravetat (la força motriu proporcional al cos i a l'acceleració de la gravetat), es trobaria al costat dels molts experiments, de contemporanis i de la tradició, amb pesos, de l'estudi dels moments, del càlcul en tota mena de màquines. I en una altra direcció l'estàtica i la mecànica newtoniana hauria corroborat, per exemple, la composició de forces.

En els treballs newtonians, s'hi troba en efecte un càlcul mecànic en l'accepció, per exemple, de la llei de la palanca i, en conjunt, de les màquines. Aquest tipus de pensament àgil perduraria en els temps newtonians, amb l'assumpció que sempre se'ls podria assumir per les acceleracions i els cossos.

Tot aquest treball newtonià hauria lliurat si més no un camp experiencial per a tota mena de fenòmens al voltant de les forces. Seria així com se sabia les direccions i els sentits de les forces, moltes resultants de tot tipus, la composició i descomposició de forces, i d'altres.

Per exemple, seria també quelcom fàcilment tradicional que dues forces iguals i oposades que actuen sobre la mateixa recta es neutralitzen, aplicades en el mateix punt o no: ho ensenyaria la mateixa experiència.

També ho fóra que les forces poden aplicar-se al llarg de la recta d'un cos, el fet d'estirar una corda per diferents parts seves ho aniria replant a la seva manera.

No sembla inconcebible que el raonament newtonià expliqués la resultant de forces paral·leles i antiparal·leles, o de forces que es creuen, etc.

3. Cal preguntar-se de bell nou: la immediatesa del tractament quantitatiu a propòsit de les forces en estàtica a partir de Newton, ¿prové del coneixement previ de les lleis que la regeixen o és independent d'això?

La nostra tesi fa el següent: no pot no haver recollit el saber tradicional de l'estàtica, i alhora l'automatisme de l'estudi quantitatiu és la conseqüència del concepte newtonià de força. L'una cosa i l'altra, les palesen els *Principia*.

4. El corol·lari primer a la lleis del moviment, el de la composició de forces, pot semblar, a un lector escrupolós, que es redueix a demostrar que dos moviments uniformes poden equivaldre al moviment fet per la diagonal del paral·lelogram en el mateix temps que els altres dos recorren els costats col·laterals, cosa que remuntaria al saber dels grecs. Des d'aquest punt de mira la composició seria merament una assumptió del paral·lelogram de velocitats uniformes, i de fet les forces components de Newton es trobarien fora del paral·lelogram.

Tanmateix el mèrit de l'exposició de Newton no estriba en la igualtat de resultants entre un moviment uniforme i dos simultanis moviments uniformes, sinó precisament en aquest trobar-se les forces fora del paral·lelogram. Respecte d'un mateix cos que surt del repòs, les forces aplicades puntualment sols lliuren la velocitat engendrada, que s'ha de considerar una velocitat instantània, a interpretar com una velocitat mitjana uniforme; per tant, es pot dir així, lliuren moviments uniformes, una conseqüència de la concepció nova de força. L'únic lloc doncs on s'ha de considerar les forces és en el punt d'inici del paral·lelogram.

Les forces es troben fora del paral·lelogram. És clar que es tracta de moviments uniformes, per tant amb una velocitat constant, situats conseqüentment en un pla idealitzat, on aquesta velocitat és la de l'acceleració instantània lliurada fora del paral·lelogram perquè hi ha la força en persona; ultra això s'hi troba proporció entre espais i forces (acceleracions) en un mateix temps²¹.

Hi ha doncs els dos moviments uniformes components, i una resultant, resultant que és una interpretació fictícia del fet que el cos seguirà un moviment per la diagonal. Més avall direm que hi ha el fet dels moviments components i res més. Això no obstant la focalització en el paral·lelogram desencamina del corol·lari, que és la composició

²¹ La força respectiva lliura la seva acceleració instantània, per tant engendra una velocitat uniforme: l'espai recorregut amb aquesta velocitat és igual en iguals temps; però la velocitat engendrada és l'acceleració. L'espai serà doncs proporcional a aquesta acceleració i, tractant-se d'un mateix cos, serà proporcional a la força engendradora.

de forces (de canvis de moviment des del repòs) que deriva d'un model quantitatiu de forces aplicat en el punt d'inici del paral·lelogram.

És com si es digués: cal tenir sols en compte aquí (hi ha un sol cos) la composició de velocitats segons una direcció i sentit, i res més. Totes les resultants de forces components sols depenen dels respectius efectes cinemàtics i de la composició d'aquests efectes.

Hi ha una immediatesa dels efectes a través del respectiu canvi de velocitat i atenent la respectiva direcció i sentit.

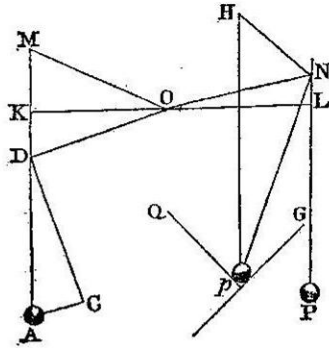
5. El corol·lari segon a les lleis del moviment fa:

«I així es fa patent la composició de la força vertical AD per qualssevol forces inclinades AB i BD; per contra la resolució de qualsevol força vertical AD en qualssevol forces inclinades AB i BD. La qual composició i resolució, en efecte la confirma abundantment la mecànica²²».

Suposi's que, del centre O d'alguna roda, en surten els radis no iguals OM i ON, que sostenen amb els fils MA i NP els pesos A i P, i es busca les forces dels pesos per a moure la roda.

Pel centre O faci's la recta KOL, que arriba perpendicularment als fils MA i NP en K i L; i en centre O, amb OL el més gran dels intervals OK i OL, es descriu el cercle que troba el fil MA a D: llavors, de la recta feta OD, sigui AC paral·lela i DC perpendicular.

²² Les lletres de l'enunciat del corol·lari segon es refereixen al gràfic de l'enunciat primer: mentre caldria continuar interpretant o no que les forces són fora del paral·lelogram (Newton té en compte la proporcionalitat de forces i espais), aquí hi ha una generalització de la composició i la descomposició de forces, que caldria comprendre sempre com hem dit dalt en parlar del paral·lelogram. Ara discutim la incorporació immediata del saber tradicional a través del compte de força de Newton.



Perquè no hi fa res si els punts dels fils K, L, D estan fixos o no en el pla de la roda; els pesos valdrien el mateix certament si se suspenguessin des dels punts K i L, o D i L. Tota la força del pes A s'exposa, però, per la línia AD, i aquesta es resol en les forces AC, CD: de les quals AC, arrossegant el radi OD directament des del centre, no val res a moure la roda; però l'altra força DC, arrossegant el radi DO perpendicularment, val el mateix que si arrossegués perpendicularment el radi OL igual a l'esmentat OD; o sigui, val el mateix que el pes P, sempre que aquest pes sigui al pes A com la força DC a la força DA, això és (pels triangles semblant ADC, DOK) com OK a OD, o OL.

Així els pesos A i P, que estan posats inversament com els radis en línia recta OK i OL, tindran el mateix poder, i estan quietes en equilibri: que és una propietat conegudíssima de la balança, de l'alçaprem i del torn. Però si el pes de l'un o de l'altre és més gran que en aquest raó la seva força serà tant més gran per a moure la roda»

El corol·lari continua complicant una mica més l'exemple. Basta el fragment traduït per a adonar-se que no hi surt cap velocitat i que la resultant equival a una llei de la palanca. Acaba amb les següents paraules:

«Doncs bé l'ús d'aquest corol·lari s'estén arreu, i estenent-se arreu fa ostentar la seva veritat; del que s'ha dit depèn tota la mecànica, demostrada de diferents maneres pels autors. Perquè d'això es deriva fàcilment les forces de les màquines, que acostumen a estar parades per rodes, politges, bossells, alçaprems, per cordes tibants i alçant pesos verticalment o obliquament, i per

les potències mecàniques restants; com també hi depenen les forces dels tendons que mouen els ossos dels animals».

Circumscriguem-nos que el pes s'aplica al punt D. No serà útil per a fer baixar la roda en la direcció DA, i l'experiència suggereix que un hom imagini d'una manera geometritzant que seguís una línia DC perpendicular a DO (que fa de radi de la roda), que s'aniria corbant a mesura que girés la roda. Amb la nova concepció de la força, considerant-ho tot geomètricament (idealment), des d'aquí un hom aturant el moviment i el temps, l'única força eficaç (del pes A) sortirà en la direcció DC. Però el fet de representar la força útil per la recta DC fa una mica el que fa el corollari primer. És a dir, DC podria representar l'espai (o l'espai proporcional a l'espai o la força proporcional a aquest espai²³) que recorreria si fos possible un tal moviment uniforme, espai que sabem proporcional al canvi de velocitat (= acceleració), per tant es pot *pensar* una proporcionalitat de la força descomposta en D i la línia DC (o la proporcional), que és el que fa Newton. Llavors la línia AC, com OD, perpendicular a DC, és la que lliura la proporcionalitat de la part de la força que estira perpendicularment a DC, i que, és clar, fa que A pengi de la línia MA, però que és inútil per a fer girar el radi OD al voltant de l'eix O.

Tot s'esdevé a D, és immediat, un hom ha de saber per experiència què s'hi esdevé, i alhora que manté la concepció de la força ho pensa quantitativament i amb una considerable simplicitat.

És clar que hem suposat que el pes A penja de D. Però l'experiència palesa que és indiferent en quin punt d'una recta s'aplica una força: el pes A actua igual al llarg de la recta AM, per tant actua igual a M i a D. L'únic que fa Newton és escollir aquell punt de la recta AM (OD = OL), essent tots igualment eficaços per al càlcul, que facilita la proporcionalitat dels triangles ADC i DOK.

6. La concepció quantitativa de la força de Newton, i el coneixement per experiència, permet l'automatisme de la composició i de la descomposició de forces com la conseqüència fantàstica de la

²³ És obvi que la proporció DC/AC es manté per construcció amb la proporció dels espais DC'/AC' proporcionals a les forces descompostes.

concurrència d'un gruix de moltes observacions, i de la concepció de força, que és modèlica, que deixa atendre tots els casos estudiats o previstos d'acord amb els seus paràmetres quantitius. I tot això de manera coherent als estudis de les forces en moltes altres circumstàncies no estàtiques.

Es tracta d'un trasllat dels problemes relacionats antics de paral·lelograms i d'una apropiació de totes les adquisicions de la tradició estàtica sobre forces, potències i pesos, dins l'àmbit de la concepció de la força dels Principia.

És a dir: les forces newtonianes subsumeixen sense solució de continuïtat les forces, pesos i moments tradicionals, amb totes les seves combinacions; són les mateixes, i les relacions quantitatives són més immediates des del concepte newtonià de força. A més eren les forces de Newton que eixamplaven el seu abast pel fet de ser també gravitatòries i mecàniques més enllà de l'estàtica.

La conclusió sembla ser la següent: mentre l'ocasió de *pensar* descomposicions i composicions l'hauria lliurada una munió d'experiències àdhuc abans de l'anglès, i molts més afers serien experiencials (direccions apreses, etc.), la concepció de la força per la massa i el canvi de moviment hauria lliurat immediatament que un hom hi pensés composicions i descomposicions immediates de forces, d'acord amb un model quantitatiu segons diferents expedients idealitzadors. Allò revolucionari no seria la composició o la descomposició, l'esmerç de paral·lelograms o no, sinó la nova concepció quantitativa de la força; que ho fa tot immediat.

§2. El paral·lelogram de forces. Composició i descomposició.

1. El paral·lelogram de la composició de forces seria la conseqüència del molt que s'ha après en la mecànica (en especial, en estàtica): dues cordes penjades del sostre mantenen un pes; el que una aguanta, més el que la segona tiba, mantenen el pes que, si no cau, l'estudiós *pensa* que implica que rep una força cap amunt igual al pes. *Un hom ho pensa*: l'espectacle natural no lliura la composició de dues forces que tiben i de la seva resultant cap amunt. En aquest cas es podria dir i tot que l'experiència lliura el pes cap avall i les cordes

tibades, de tal manera que es palesa tot alhora, i que la composició sols interpreta el que s'hi troba en aquest tot de cordes i pesos.

En conjunt hi ha una comprensió de les forces en la resultant cap amunt: es pensa que la resultant és així mateix l'eficàcia de les dues forces que tiben les cordes.

Si ho voleu així: la resultant és una interpretació fictícia de l'evidència que el cos no cau i que suma els efectes de cadascuna de les forces components (la interpretació fictícia és la composició mateixa).

La barca que arrenca el moviment arrossegada per cordes a cantó i cantó de les ribes del riu descobreix en això mateix les estrebades dels de terra: el seu moviment n'és la manifestació.

Les forces dels sirgadors són les que fan avançar la barca (bandejant els afers circumstancials). Es diu que les forces provocades pels sirgadors es manifesten en la resultant.

Que hi hagi composició depèn per tant d'afers externs, i que hi introdueixin un ordre de successió: per exemple, la presència de cordes i pesos, la dels sirgadors i més cordes, que són previs a una qualsevol resultant.

Aquesta resultant recull els vessants motors de les forces corresponents.

Potser bastaria això per a introduir-nos a un punt de mira prenewtonià. Recordi's, però, que la tradició anterior a Newton hi trobà fins i tot les raons de cadascuna de les forces que tiben de les cordes que sostenen el pes del cos, respecte d'aquest pes²⁴, per seguir en el primer exemple.

Agafant un punt de mira newtonià, la descomposició prèvia de les forces que tiben de les cordes demana l'anul·lació dels moviments laterals.

En efecte, des d'una perspectiva de l'efecte immediat d'una força, hi hauria un cos que pesa gràcies a l'acceleració de la gravetat (que engendraria immediatament un moviment uniforme cap a avall), i dues forces que tiben el cos, amb la respectiva acceleració (tot pensat immediatament com engendrant moviments uniformes), que tindrien l'eficàcia de contrarestar el moviment del cos cap avall, mentre no hi hauria cap desplaçament lateral ni vertical: d'aquí que calgui descompondre el moviment uniforme engendrat per

²⁴ És el que va demostrar, per exemple, Roberval (1602-1675), cf. *Tres estudis d'estàtica* (Quaderns de filosofia 40).

l'acceleració instantània de cada força que tiba per la corda en dos altres moviments uniformes (el cos està aturat), l'un que intervé a contrarestar (i la suma dels dos a fer-ho del tot) el moviment uniforme engendrat pel pes; i l'altre a equilibrar-se amb el lateral de la força de l'altra corda.

Cada estrebada dels sirgadors s'hauria d'interpretar en uns terme semblants: engendra immediatament els respectius moviments uniformes, la resultant dels quals rau en un moviment uniforme engendrat immediatament a la barca a través de les aigües, i sense descomposicions laterals, exercici que exemplaritzaria el corollari primer a les lleis dalt esmentat.

Això demana unificacions i esquematisme: ho tocarem tot seguit.

2. Un hom pot sentir el pes d'un cos que llisca per una mà inclinada o per una cama; es pot admetre que costa menys d'estirar un qualsevol cos pujant per un pla inclinat (amb les precaucions necessàries) que per la vertical. Si més no sembla fàcil d'organitzar un enginy per a contrastar-ho, per a calcular què tiba i per a relacionar-ho amb la inclinació del pla. Certament tot això ja se sabia abans de Newton: llavors se cerca la força del cos en la direcció del pla inclinat perquè ja se sap que aquest pla impedeix que baixi verticalment. Hi ha doncs un únic moviment de caiguda, un pla inclinat i el convenciment que el pla impedeix la caiguda lliure del cos. *S'ofereix un fenomen d'un cos que pesa i que té efectes: és a dir, les forces que fan baixar el cos i les que el pla obstaculitza són alhora els efectes del pes del cos.*

És que hi ha una única força que és la del pes i, totes les altres, un hom les interpreta a tall d'efectes motors; sols hi ha el pes del cos, i la resta s'ofereix, donada l'evidència que el cos baixa pel pla inclinat, i que aquest fa d'obstacle a la caiguda lliure, a tall d'una interpretació fictícia d'una descomposició del pes en uns tals efectes (la interpretació fictícia és la mateixa descomposició).

Això passa en una qualsevol descomposició: la llentilla del pèndol que oscil·la tiba el fil i es mou perdent alçada i guanyant-ne, palesant arreu un fenomen unitari; les forces que un hom pot endevinar són els efectes de la força única del seu pes.

Fins aquí sembla que ens trobaríem en uns apunts que podrien valer per a la tradició anterior a Newton, amb l'afegit que també aquí haurien encertat a lliurar les raons entre la força que fa baixar el cos i el seu pes, o entre la de la vertical al pla i aquest mateix pes.

En termes de l'efecte immediat d'un força newtoniana hi ha ara un sol moviment uniforme engendrat immediatament per l'acceleració de la gravetat: la descomposició ha de reeixir a descompondre aquest moviment uniforme (o l'acceleració) en dos (o dues) altres, l'efecte dels quals sigui equivalent al primer, afer que òbviament s'ha de trobar d'acord amb l'experiència. Això s'estén tant per al cos que baixa per un pla inclinat com per a un cos que oscil·la pendularment. Més avall veurem que cal així mateix una unificació i un esquematisme.

3. Hi ha composició i descomposició de forces.

En el cas del pla inclinat i del pèndol s'estudia el fenomen a partir de la circumstància de tenir present sobretot un cos únic físic. La descomposició esdevé llavors la manera de pensar-lo.

En el cas del pes penjat per dues cordes i el dels sirgadors es té present que hi intervé una pluralitat física de factors. La composició esdevé també la manera de pensar-ho.

En la descomposició *l'estudi* apunta que l'esdeveniment ocorre per *un* objecte físic, en la composició *aquell estudi* remarca que arrenca d'una *pluralitat* d'objectes físics.

4. Això demana simplificacions múltiples i, malgrat que no sigui tal qual un afer propi de la composició i de la descomposició, el rigor expositiu sol·licita un principi d'unificació en el cos (centre de masses, de gravetat), que s'acompanya dels esquematismes comprensibles, tot plegat a considerar com una quantificació descabdellada dins d'una modelització geometritzant general.

5. Agafi's de bell nou l'exemple del cos que baixa per un pla inclinat.

Ocorre que hi ha la troballa del centre de gravetat com a mínim des d'Arquímedes, i llavors es tendeix a pensar que tot el pes es pot suposar en aquest centre; després s'hi aplica la força que fa lliscar pel pla (afer que es podria comprovar amb un altre enginy que la contrarestés) i la que provoca la normal del pla.

L'esquematisme que fa preferir una descomposició del pes en la vertical al pla inclinat i en la direcció de la inclinació del pla és guiat

per l'observació de l'experiència natural, i a partir d'un centre de masses.

La unificació aconseguida amb el centre de masses, i l'esquematisme, suposen que recullen, aquí en dues direccions perpendiculars (en d'altres casos en les direccions convenients) tota la motricitat esparsa per arreu, és a dir, abans de considerar cap centre de gravetat i abans de poder-ne fer l'esquematisme corresponent, de manera que un hom podria imaginar que cadascuna d'aquelles direccions s'ofereix com una resultant sui generis de la composició respectiva d'aquella motricitat. I hi hauria l'ús d'enginyers per a lliurar-ne alguna comprovació.

La descomposició en el pla inclinat esdevé una manera de reflectir el tot experimental a través d'uns recursos unificadors i d'uns pensaments esquematitzadors per a la resolució d'esdeveniments. Aquesta unificació és la conseqüència sobretot de la que s'aconsegueix amb el centre de masses.

No hi ha hagut ni creació ni destrucció. I la força perpendicular al pla s'oposa a la força normal.

6. En la composició tenim també un cos, per exemple, del pes mantingut per dues cordes, amb el seu centre d'unificació de masses (i el centre de gravetat), que s'acompanya del corresponent esquematisme d'una força cap amunt, els efectes motors de la qual contraresten els del pes.

Reculem una mica: pel cantó de les cordes hi havia els efectes que contraresten els pesos escampats arreu del cos que tiba per a baixar, abans doncs de considerar una qualsevol unificació seva a través del centre de masses.

Tanmateix no tot aquest efecte s'aprofita per a mantenir el pes: caldrà pensar en allò útil motor per a contrarestar els efectes motors del pes, i allò que fa mantenir aturat el pes en el pla horitzontal. Certament tot això ho seguim en experiències fetes.

Llavors les resultants motrius verticals de cada força que tiba per les cordes, un hom se les imagina des d'unes multituds motrius de forces – o des de la motricitat de les forces verticals úniques a partir dels centres de masses.

I quelcom de semblant s'esdevindrà en el pla horitzontal.
Som doncs en noves descomposicions.

Arreu es manté que la unificació pel centre de masses i l'esquematisme permeten una solució del problema.

7. Repeteixi's: *hi ha un fenomen que es pensa seguint criteris unificadors* (centre de massa i de gravetat), que permeten un esquematisme.²⁵

Tant la descomposició com la composició són resultants des de pensaments unificadors i esquematitzadors que lliuren una interpretació fictícia, i procuren una solució a partir d'*un fenomen amb uns efectes esparsos del tot* abans d'una tal unificació i esquematització.

A tot això, que podria ser compartit per un prenewtonià, s'hi ha d'afegir una concepció de la força com a engendradora instantània d'una velocitat uniforme, de manera que les composicions i les descomposicions afegeixen moviments uniformes, o en descomponen, tal i com ho exemplaritzen els corollaris primer i segon dalt esmentats.

Certament l'experiència guia l'investigador a l'hora d'afavorir centres de masses i, sobretot, quan es tracta de les resultants de composicions i de descomposicions. Car la força es presenta a tall d'un fenomen natural, i els seus efectes s'han de palesar naturalment.

²⁵ És interessant de notar que la noció de pes, tan antiga com el mateix home, s'enllaça amb la massa i l'acceleració de la gravetat des de Newton, i amb una específica acceleració si més no des de Huygens. Tanmateix no suposa tal qual un criteri unificador; no n'hi ha en la circumstància d'aguantar quelcom, en la de comparar-lo amb un altre cos en una balança, en la lectura feta en un dinamòmetre, en l'observació de la caiguda. El pes esdevé quelcom consistent que no cal unificar. Aquí ha estat el pensament unificador del centre de gravetat d'un cos – que coincideix amb el centre de massa quan el camp gravitatori és uniforme – el que permet de creure a posteriori que el pes aplicat al centre de gravetat comporta una simplificació d'aquest pes a partir de la troballa del centre de gravetat des de cadascuna de les parts (pensades amb pes) del cos.

Convé potser d'indicar que la unificació a partir del centre de masses (o de gravetat), l'esquematisme que suposa direccions de forces, no són nous models, sinó que semblen recursos de la quantificació i exercicis dins de la modelització geomètrica general

§3. L'equilibri de forces.

Dues forces es neutralitzen: no hi ha aquí cap força resultant. Malgrat això aquesta neutralització mostra quelcom. En l'equilibri de la balança no hi ha moviment i es comprèn què ocorre.

La qüestió abraça un nombre molt gran de casos perquè, per exemple, els cossos damunt la Terra s'hi mantenen.

Les forces són naturals, i se les mesura pels seus vessants quantitius²⁶: quan s'empeny quelcom dues forces contràries poden neutralitzar-se mútuament, però no desapareixen o s'esvaeixen sense més malgrat que ja no pugui haver-hi motricitat.

Els cossos de la balança en equilibri no han perdut sense més de ser cossos de la Terra.

És clar que això se sap per la naturalitat de les forces, pel fet que aquest esdeveniment físic ha estat comprès com a quelcom poderós capaç de fer canviar el moviment d'un cos. Precisament aquella naturalitat certifica que la causa de les forces hi és, i que aquestes forces es manifestaran tan bon punt desaparegui llur mútua neutralització. Les causes de les forces es mantenen en tots els seus equilibris i en la neutralització de canvis.

Ocorre que les situacions d'equilibri (els pesos en una balança, un individu dret, etc.), mentre fan palès que no hi ha res més, es manifesten com esdeveniments literalment forçats, és a dir, efectes d'una contrarietat. L'equilibri és un ajustament que s'ofereix a tall d'un contrarietat provisional, d'una estabilitat relativa, amantent sempre a superar-se.

²⁶ Les forces inercials gaudeixen d'alguna singularitat: són capaces de donar raó dels efectes quantitius de forces impreses en un altre cos, quan es tracta de forces inercials en cossos mòbils, o dels efectes quantitius de forces impreses en el mateix cos per causa d'un altre cos.

Per això un hom hi refereix forces, tensions, pesos, etc., quan no hi ha res més: pel fet que un hom ho calcula fora de la neutralització, i explica l'equilibri des d'un tal càlcul. Si es vol: un hom ho concep des de les forces que han provocat un equilibri, i que calcula que s'hi troben presents.

Noti's que les implicacions quantitatives de l'equilibri es palesen de múltiples maneres: l'equilibri de la balança de braços iguals exemplifica la igualtat de pesos, i les forces normals han de ser iguals als pesos corresponents.

La força concebent-se quantitativament des del canvi immediat i el cos, no costa pas massa d'estendre la igualtat quantitativa per a tot equilibri de forces, o la igualtat quantitativa dels moments corresponents, si és el cas.

§4. Els problemes dels manuals.

Un quadre subjectat des d'una бага ben centrada sobre la part superior del marc, per on passa un cordill escairat en dos trossos desiguals que el pengen d'un suport horitzontal, palesaria (menyspreant ròssecs) un tot tesat, on les tensions²⁷ i el pes s'oposarien; el pes efectiu, i les tensions, neutralitzarien els efectes cinemàtics. Això vol dir que les tensions T_1 i T_2 contrabalancen el pes, i que s'impedeixen mútuament qualsevol altre moviment.

En els problemes de tensions hi ha l'ús sistemàtic d'una concepció apresada des del tracte natural, i des del pensament del cas. Sabem que les forces són esdeveniments contundents de la natura, i es palesen en la caiguda dels cossos, per exemple, i en les lectures que permeten els dinamòmetres. L'eficàcia de la força es mostra en la caiguda i en la tensió des d'un tot tesat que manté l'equilibri.

²⁷ Parlant, per exemple, de cordes, el mòdul de la força que un punt de la corda fa sobre l'adjacent s'anomena tensió (en conjunt, si es desconsidera el pes de la corda i totes les circumstàncies de la seva confecció material, la tensió serà la mateixa arreu seva). Amb les cordes, i més enllà d'aquestes, l'equilibri del tot es pot dir tesat, en l'accepció que s'hi palesa un esdeveniment capaç de ser entès en termes de forces.

Allí on és possible un hom deu cercar alguna corroboració, com sigui que no es voldria fer en cap cas un mer problema que pertanyés a una casuística que volgués albirar una mera resolució sobre el paper.

Moltes de les situacions descrites en llibres i manuals gaudirien en efecte d'un pressupòsit experimental que satisfaria l'exigència d'avaluar-lo com un fenomen natural.

Aquest estil de treball remuntaria al mateix Newton, per exemple, quan calculava la quantitat de moviment que hi havia abans i després del xoc entre dos pèndols deixats anar des d'una alçada determinada. Es dirà que l'experiència de Newton pressuposa que les velocitats són proporcionals a les cordes dels arcs recorreguts: no cal, però, recular-hi, perquè es fa obvi que no hi ha experiment que no pressuposi quelcom. La corroboració, la confirmació, experimental mai no deu voler dir sense pressupòsits.

Agafi's, per exemple, els casos múltiples en què a través d'una força F s'empeny una caixa de massa m_1 , en contacte directe amb una altra caixa m_2 , per tant s'arrosseguen les dues alhora, i es pregunta per la força que exerceix una caixa sobre l'altra (es negligeixen ròssecs).

Una solució fàcil fóra fer veure que la segona caixa exerceix una força (F_{21}) sobre la primera igual en mòdul i oposada en sentit a la força aplicada (F_{12}) sobre la segona caixa; és a dir: si $F = (m_1+m_2)a$, llavors $F_{12}=m_2a$, i per tant $F_{21}=-m_2a$. O:

$$-F_{21} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F.$$

Àdhuc aquest tipus de problemes, que semblen meres aplicacions sobre el paper, il·lustren si més no què s'entén per força i les condicions del manteniment de massa i de canvi de velocitat.

IV LA FORÇA VISTA EN CONJUNT

La força esdevé quelcom prou obvi, i des del grecs un hom s'hi ha volgut apropar amb mesures quantitatives. La mecànica prenewtoniana, abans de ser desbancada per la nova, provà una vegada i una altra d'apropar-se a l'estudi de forces i de moments.

La nova manera quantifica un cos i un increment (o minva) immediat de velocitat uniforme.

Un hom hi subsumeix, en la força, el que s'ha après (canvi de velocitat, massa, centre de masses). No abandona l'ideal que es deriva de la geometrització ni la simplificació, ni deixa d'observar.

L'afer explicaria la dificultat de la seva interpretació, que és també la conseqüència, per exemple, que l'ús heurístic del centre de gravetat remunta com a mínim a Arquímedes. Newton pressuposa dos mil anys o més d'història de la ciència.

La força es manté doncs com un concepte compromès en l'esdeveniment (cossos que canvien immediatament de velocitat uniforme) i la seva reelaboració quantitativa no es fa a costa de menysvalorar el seu vessant qualitatiu. La força es pensa des d'una tal reelaboració conjunta, que reflecteix genuïnament els processos que hi duen, i sols així ha pogut triomfar com a concepte clau de la física.