Cap. II.

DE SITV AEQVILIBRII NAVIVM.

§. 96.

Quemadmodum omne corpus aqua ſpecifice leuius, ſi aquae immittatur, pluribus ſitibus aequilibrium tenere poteſt, vti in praecedenti libro fuſius eſt expoſitum; ita etiam nauis quaecunque, quamcunque habeat formam, dummodo leuior ſit quam aequale volumen aquae, non ſolum vnius aequilibrii ſitus erit capax, ſed etiam plurium. Neque vero ad inſtitutum noſtrum attinet omnes hos aequilibrii ſitus inueſtigare, ſed potius naues ita inſtrui oportet, vt datus et determinatus ſitus aequilibrii proprietatibus gaudeat. Omnis enim nauis, cuiuscunque ſit generis, ita eſſe debet comparata, vt aquae immiſſa praeſcriptum ſitum occupet, ac data eius portio aquae immergatur. Quare cum ſitus aequilibrii non inter res quaerendas, ſed datas reperiatur, naues ad eum induendum ante omnia accomodatas eſſe conuenit.

§. 97. Statim enim ac nauis cuiusque conſtructio ſuſcipitur, non ſolum quantitas voluminis immerſi, ſed etiam ipſa nauis portio aquam ſubeunda determinari ſolet. Hoc vero ipſa nauium ratio et vſus requirunt, quae aquae innatantes ſitum erectum tenere debent; qui ſitus per conſtructionem obtinetur, ſi ea ipſa nauis portio in aqua verſetur, quae ab initio in hunc finem eſt deſtinata. Cum igitur in capite praecedente partem ſubmerſam iam deſcripſerimus, eamque a reliqua parte diſtinxerimus, conſtructionem atque onerationem nauium ita abſolui oportet, vt ea ipſa por-

portio determinata aquae immersa nauem in aequilibrio conseruet, ideoque aequilibrii proprietatibus in libro superiore descriptis sit praedita.

§. 98. Ponamus igitur nauem aquae ita immitti vt determinata illa pars sub aqua sit submersa, atque inuestigemus, quomodo nauem comparatam esse oporteat, vt in hoc situ quiescere, atque aequilibrium conseruare queat. Manifestum autem est ex primis hydrostaticae legibus, ad hoc duas requiri, quarum altera pondus totius nauis spectat, altera locum ipsius centri grauitatis. Primo enim totius nauis pondus tantum esse debet, vt aequale sit ponderi massae aquae, cuius volumen aequale est volumini partis submersae. Deinde necesse est, vt centrum grauitatis totius nauis ac centrum grauitatis spatii, quod in aqua occupat, seu centrum magnitudinis partis submersae, in eadem recta verticali sint sita.

§. 99. Volumen igitur partis submersae, si in mensura cognita fuerit datum, praebebit leui calculo, grauitati aquae innixo pondus, quod toti naui est conferendum, vt neque maior nauis pars neque minor in aquam ingrediatur. Pondus autem cuiusuis nauis tanquam ex duabus partibus conflatum considerandum est; ex pondere scilicet ipsius nauis et rerum ad ipsam pertinentium, cuiusmodi sunt mali, remi, ancorae, aliaeque machinae; atque insuper ex pondere onerum impositorum. Cum igitur pondus ipsius nauis in se spectatae fuerit cognitum, ex quantitate partis submergendae colligere licebit, quanta onerum copia addi debeat, vt nauis definitum obtineat pondus. Ex quo perspicitur, vt nauis maximae onerum copiae capax reddatur, cum ipsum nauis corpus quantum fieri potest,

le-

leuiſſimum, tum partis ſubmergendae volumen maximum eſſe oportere.

§. 100. Neque vero onerum quantitatem cuique naui imponendorum tam diligenter definiri opus eſt, quoniam in ipſa oneratione manifeſtum fit, quando debita onerum copia eſt ingeſta. Cum enim a prima conſtructione portio nauis aquae immergenda definiatur tamdiu oneribus imponendis erit continuandum, quoad definita illa pars ſub aquam prematur. Quamobrem in ipſa conſtructione potius ad finem praepoſitum reſpici oportebit, nauemque ita accommodari, vt praeſcriptam onerum copiam capere queat. Ad quoduis enim partis aquae ſubmergendae volumen per vſum practicum determinabitur pondus totius nauis in ſe ſpectatae, quod a pondere aequalis voluminis aquae ablatum praebebit pondus onerum imponendorum, vnde viciſſim ſi praeſcribatur onerum pondus, cum nauis magnitudo tum etiam quantitas carinae cognoſcentur.

§. 101. Quanquam autem omnis nauis ad determinatum pondus portandum deſtinari ſolet, tamen ita naues confectas eſſe oportet, vt etiam, ſi minus habeat pondus, in aqua ſitum teneat erectum, qui pariter requiſitis praerogatiuis gaudeat. Primum enim cum nauis nuper conſtructa atque etiam nunc vacua aquae immittitur, non ſolum eiusmodi ſitum in aqua tenere debet, quo planum diametrale ſit verticale, ſed etiam prora et puppis ad ſenſum aequaliter immergi debebunt: quod idem tenendum eſt, ſi nauis quamcunque onerationem debita minorem acceperit. Pro huiusmodi igitur caſibus regula huc redit, vt pro quaque onerum impoſitorum copia ſectio aquae parallela fiat illi ſectioni aquae, quam nauis, cum com-

pletam onerum copiam eſt conſecuta, tenere debet. Hac enim regula vtrumque obtinetur, cum vt planum diametrale ſit verticale, tum vt prora et puppis aequaliter ſubmergantur.

§. 102. Regula haec ad ſitum nauium vacuarum ſpectans maximi eſt momenti, ac ſi in conſtructione cuiuspiam nauis contra eam peccatur, id pro ingenti damno haberi ſolet. Duplici autem modo contra iſtam regulam impingitur; quorum alter in inaequalitate laterum nauis conſtat, indeque euenit, vt, cum nauis in aquam demittitur, planum diametrale non teneat ſitum verticalem, ſed verſus latus grauius inclinetur. Alterum vitium committitur, ſi vel prora vel puppis nimis fabricetur ponderoſa, tum enim ea pars quae grauior eſt aquae profundius immergitur, leuior vero extra aquam magis eminebit quam decet. Haecque vitia eo plus incommodi afferunt, quo ſunt maiora: atque ſi ambo coniunctim in eadem naui deprehendantur, id merito maximo vitio verti ſolet.

§. 103. Quanquam vero his vitiis, ſi quaedam nauis iis laboret, per onerationem remedium afferri poſſe videtur, dum parti leuiori maior onerum quantitas imponitur; tamen iſta medela cum aliis maioris momenti incommodis eſt coniuncta. Praeterquam enim quod eiusmodi nauis ante, quam haec vitia tolli queant, in eo maiore periculo verſatur, quo ea ſint maiora, atque adeo ſtatim ſubverſione perire poſſit, ipſa quoque oneratio, per quam alias plura atque inſignia emolumenta nauibus afferri poſſunt, nimis reſtringitur, ac ſi memorati defectus ſatis ſint enormes, nihil omnino commodi ex oneratione conſequi licet. Quin etiam ſcopus, cui nauis eſt deſtinata ſaepe nume-

ro obtineri non poteſt, eo quod in eam nauis partem, quae per ſe iam eſt nimis ponderoſa, onera omnino imponere non licet, quo fit vt non ſolum ſpatium ab oneribus vacuum ſit relinquendum, quod alias maxime idoneum foret ad onera capienda, ſed etiam eo ipſo ſtatus aequilibrii infirmitati fiat obnoxius.

§. 104. Quando autem nauis ab his vitiis fuerit immunis, atque aquae commiſſa etiam nunc vacua ſitum accipiat erectum, quo ſectio aquae, illi quam habere debet, cum fuerit onerata, ſit parallela, tum non ſolum nauis ab incommodis memoratis erit libera, ſed etiam ad onerationem debito modo perficiendam maxime erit accommodata. Hoc enim ſolo caſu licebit onera imponenda aequaliter per totam nauis cavitatem diſtribuere, ac regulas, quae infra circa onerationem praeſcribentur obſeruare. Si enim hoc modo onera tam verſus latera, quam verſus proram et puppim aequaliter diſtribuantur, tum nauis motu ſibi parallelo continuo magis immergetur, donec debita pars ſub aqua verſetur. Omnes autem rationes quae infra circa onerationem afferentur, aequabilem diſtributionem requirunt.

§. 105. Quo magis igitur perfecta nauium conſtructio requirit, vt nauis adhuc vacua in aqua ſitum erectum obtineat, eo magis eſt cauendum, ne in conſtructione vitia committantur. Quod quidem ad ſitum verticalem plani diametralis attinet, is niſi ingens incuria adſit, facile obtinetur ambobus lateribus non ſolum ratione figurae ſed etiam ratione ponderis partium, quibus latera conſtant, aequalibus conſtruendis. Ratione prorae autem et puppis ſitus erectus difficilius producitur, niſi volumine fere ſint inter ſe ſimiles hae duae nauium partes. At ſi altera pars

alteram mole multum excedat; tum difficulter, euitatur quin pars maior magis immergatur quam minor. Quare, quo altera pars alteram mole magis ſuperat, eo magis erit augendum minoris pondus, maioris autem partis pondus diminuendum: ad quod recte obſeruandum, ad centrum grauitatis voluminis aquam ſubeundi maxime eſt reſpiciendum; qua de re mox neceſſaria praecepta proferentur.

§. 106. Quantumuis autem magna cura ad incommoda haec effugienda adhibeatur, tamen ſaepenumero memorati defectus euitari non poſſunt. Neque vero ideo iſtiusmodi naues, niſi multum a ſcopo aberrent, tanquam ineptae ſunt cenſendae et regiciendae, ſed opera potius ſumma eſt adhibenda, vt talis defectus quam commodiſſime tollatur. Fiet hoc, dum illi nauis parti, quae extra aquam nimium eminet, ſeu quae illi quae nimium immergitur, eſt opoſita, tanta onerum copia imponatur, donec obliquitas ſitus omnino ſit ſublata. Atque in hac correctione praeſtabit ponderibus maxime grauibus vti, quo iis ſpatium quam minimum occupetur, ſatisque ſpatii ſuperſit, ad reliqua onera ſecundum praecepta imponenda. Interim tamen id eſt tenendum, quo longius haec pondera a communi centro grauitatis remoueantur, eo paucioribus ponderibus intentum aequilibrii ſitum obtineri.

§ 107. Expoſitis his, quae tum ad ipſius nauis pondus tum onerum imponendorum quantitatem ſpectant; quibusque quantitas voluminis aquae immergendi determinatur, inquiramus in alteram huius capitis partem, qua effici debet, vt data portio aquam ſubeat, dataque ſupra aquam emineat, ſeu vt data nauis ſectio fiat horizontalis, atque in aquae ſuperficiem incidat. Quoniam autem haec

pro-

proprietas nauibus tam vacuis quam onuſtis communis eſſe debet, primo nauem vacuam ita eſſe oportet, comparatam, vt aquae immiſſa ſeſe in ſitum erectum recipiat, deinde inueſtigandum eſt, quomodo onera ſint diſponenda, vt iis impoſitis nauis denuo ſitum erectum accipiat. Cum igitur ſitus erectus ſit is, quo ſectiones, quae ſupra vocatae ſunt horizontales actu ſecundum horizontem collocantur, vtroque caſu id tantum eſt praeſtandum, vt ſectiones horizontales dictae ſitum horizonti parallelum conſequantur.

§. 108. Cum autem tanta nauis portio infra aquae ſuperficiem eſt depreſſa, vt aqua de loco ſuo depulſa pondere adaequet ipſam nauem, id ad aequilibrium nondum ſufficit, ſed inſuper requiritur vt centrum grauitatis totius nauis in eandem rectam verticalem incidat, in qua centrum grauitatis ſpatii, quod nauis in aqua occupat, verſatur; quod centrum in ſuperiori libro breuitatis et diſtinctionis gratia centrum magnitudinis partis ſubmerſae appellare conſueuimus. Hoc enim centrum minus congrue vocaretur ſimpliciter centrum grauitatis carinae, etſi carina nobis eam nauis partem denotat, quae aquae eſt immerſa; ſed addenda eſſet conditio, qua tota carina ex homogenea materia conſtare ponatur. Qua propter altera conditio ad aequilibrium producendum neceſſaria huc redit, vt centrum grauitatis totius nauis et centrum magnitudinis carinae in eandem rectam verticalem incidant.

§. 109. Contemplemur nunc nauem ſiue vacuam ſiue onuſtam, ac ponamus huic alteri conditioni iam eſſe ſatisfactum, ita vt aquae immerſa ſitum teneat erectum. Quoniam igitur in hoc ſitu planum diametrale eſt verti-

cale, carina seu pars aquae immissa constabit ex duabus partibus ratione figurae externae inter se aequalibus et similibus: atque hanc ob rem eius centrum magnitudinis in ipso plano diametrali erit situm. Quia autem positio verticalis plani diametralis sola ad situm erectum non sufficit, sed praeterea requiritur, vt eae sectiones ad planum diametrale normaliter factae, quas ante vocauimus horizontales, actu secundum horizontem sint dispositae; ex figura carinae externa ipse centri magnitudinis locus in plano diametrali per calculum definiri debebit, quo cognito rectae verticalis, in qua hoc centrum existit, positio innotescet.

§. 110. Cum igitur sine calculo iam constet centrum magnitudinis partis submersae seu carinae in plano diametrali esse situm, si quidem nauis situm teneat erectum, duabus insuper determinationibus ad ipsum huius puncti situm definiendum erit opus. Primum enim eius distantia a prora vel a puppi determinari debet, seu quod eodem redit a sectione transuersali amplissima: nisi enim in ipsam hanc sectionem amplissimam cadat, vel in proram vel in puppim incidet, atque vtroque casu eius distantia a sectione amplissima ope calculi est inuestiganda. Deinde singulari calculo profunditatem istius centri magnitudinis inveniri oportet, siue distantiam a sectione aquae. Si enim hae duae res fuerint exploratae, ipsum punctum in plano diametrali assignari poterit, in quod centrum magnitudinis carinae cadit.

§. 111. Quoniam autem ad institutum nostrum sufficit rectam verticalem, in qua centrum hoc magnitudinis est situm determinasse; posteriore determinatione in hoc

hoc capite ſuperſedere poterimus. Cum enim per priorem determinationem cognita fuerit diſtantia centri iſtius a ſectione ampliſſima vel verſus proram vel verſum puppim; ſimul poſitio rectae verticalis, in qua hoc centrum eſt ſitum, innoteſcet. Namque ſi in plano diametrali ad tantam diſtantiam a ſectione ampliſſima vel verſus proram vel puppim, quantum centrum magnitudinis ab eadem ſectione diſtare inuentum eſt, ducatur recta verticalis, erit haec ipſa recta verticalis illa linea nobis cognitu neceſſaria, in qua ſimul centrum grauitatis totius nauis debet eſſe ſitum. Neque igitur in praeſenti negotio opus eſt, vt ipſum huius rectae punctum, in quod centrum magnitudinis incidit, definiatur; cum ſola rectae verticalis per id tranſeuntis poſitio ad ſitum aequilibrii ſufficiat. At in ſequentibus, cum de firmitate ſitus aequilibrii agetur, iſta determinatio, quam hic tuto negligere poſſumus, maxime erit neceſſaria: contra vero altera negligetur.

§. 112. Conſideremus primum eam tantum lineae verticalis per centrum magnitudinis partis ſubmerſae tranſeuntis affectionem, qua inuenimus eam in ipſo plano diametrali eſſe ſitum. Cum igitur centrum grauitatis totius nauis in eandem rectam verticalem cadere debeat, id ante omnia in plano diametrali poſitum ſit neceſſe eſt. Quoniam vero nauis adhuc vacua, ſi in aquam demittatur ſitum erectum tenere debet, etiam nauis vacuae centrum grauitatis in plano diametrali ſitum eſſe oportet. Huic vero conditioni facillime ſatis fit; cum enim nauis ex duabus portionibus ad vtramque plani diametralis partem ſitis conſtet ſimilibus et aequalibus, ſi conſtructio vtrinque

ſimilis

ſimilis adhibeatur, eo ipſo centrum grauitatis in planum diametrale incidet.

§. 113. Quando nauis vacua iſta proprietate iam gaudet, eiusque centrum grauitatis in planum diametrale incidit, tum oneratione eadem conditio non difficulter ad implebitur. Quantum enim onerum pondus in vnum navis latus imponitur, tantumdem in alterum latus erit collocandum; vtrinque in eadem a plano diametrali diſtantia. Hac namque regula obſeruata onerum impoſitorum commune centrum grauitatis in planum diametrale cadet et proinde etiam centrum grauitatis nauis et onerum coniunctim. Hanc ob rem onera vehenda in duas partes aequales diſtribui conuenit, atque ambas ſemiſſes per ambo nauis latera aequaliter diſponi. Neque vero aliae rationes huic onerandi modo aduerſantur, quin potius omnes eundem requirunt. Atque hinc vitium merito cenſetur, ſi ob inaequalitatem ponderis laterum nauis amborum haec lex in oneratione obſeruari non poteſt.

§. 114. Contemplemur nunc ipſam iſtius rectae verticalis, quae per centrum magnitudinis partis ſubmerſae eſt ducta, poſitionem; ac primo quidem ponamus proram puppi omnino ſimilem eſſe et aequalem, ita vt etiam ſectio ampliſſima nauem in duas partes ſimiles et aequales diuidat. Manifeſtum igitur eſt rectam illam verticalem hoc caſu per medium plani diametralis eſſe tranſituram, atque in interſectione huius plani cum ſectione ampliſſima fore ſitam. Hanc ob rem tam ipſius nauis vacuae quam onuſtae centrum grauitatis in eadem recta debebit eſſe poſitum. Quod quidem ad centrum grauitatis ipſius nauis attinet, id ſponte in hanc rectam cadet, ſi quidem porra

et

et puppis ſimili modo fuerint conſtructae, quae conditio ob harum partium ſimilitudinem externam facile obtinetur.

§. 115. Cum igitur hoc caſu nauis ex quatuor partibus aequalibus et ſimilibus conſtet, in quas cum a plano verticali diametrali tum a ſectione ampliſſima diſpeſcitur, onera quoque per has quatuor partes aequabiliter diſtribui oportebit. Interim tamen, ſi quae rationes poſtulent, vt in puppim maior minorue onerum copia collocetur, quam in proram; etiam huic conditioni facillime ſatis fieri poteſt. Quo enim plura pauciorae onera puppi debent imponi quam prorae, eo vel propius vel longius a ſectione ampliſſima debent collocari; vt, etiamſi onerum copia proram et puppim occupantium ſit inaequalis, tamen eorum centrum grauitatis in rectam verticalem per medium nauis tranſeuntem cadat. Huicque conditioni, innumerabilibus modis ſatis fieri poteſt, ita vt inſuper plures aliae conditiones, quas firmitas aliaeque circumſtantiae requirent, per onerationem, hac conditione non laeſa ſeruari queant.

§. 116. Hypotheſis haec, qua proram et puppim inter ſe aequales et ſimiles poſuimus, latiſſime patet, ac non ſolum ad omnes decem nauium ſpecies in ſuperiore capite recenſitas extenditur, ſed etiam eiusmodi figuras, quae ad illas ſpecies reuocari nequeunt, ſub ſe complectitur. Quaecunque enim figura prorae detur, ſi eadem ipſa figura etiam puppi tribuatur, orietur figura nauis ſub iſta hypotheſi comprehenſa; in qua centrum magnitudinis partis ſubmerſae in recta verticali per medium nauis ducta ſitum erit. Quamobrem modus, quem tum in conſtru-

ctione tum in oneratione istiusmodi nauium tenere oportet, diligenter est notandus, quo, quantum ab eo recedi debeat, si nauis figura fuerit diuersa, facilius intelligi queat. Manifestum enim est, quo magis figura nauis ab ista hypothesi discrepet, eo magis ab exposita cum constructionis tum onerationis ratione esse discedendum.

§. 117. In quacunque autem recta verticali centrum magnitudinis partis submersae situm esse reperiatur non solum oneratio sed etiam constructio nauium maxime manet indeterminata. Cum enim, quantum quidem ad praesens institutum attinet, id tantum efficiendum sit, vt centrum grauitatis totius nauis et onerum in eandem rectam verticalem cadat; momenta ponderum omnium respectu huius rectae quaquauersus aequalia esse debent. Neque vero hac aequalitate quicquam aliud determinatur, praeter aequalitatem productorum ex singulis ponderibus in distantias a duabus rectis horizontalibus per rectam illam verticalem ductis; prouti ex statica satis constat: cui quidem requisito innumerabilibus modis satisfieri potest. Haec vero ideo monenda sunt, ne regulae, quae infra circa onerationem occurrent, superfluae videantur, sed iam ante intelligatur per onerationem pluribus conditionibus satisfieri posse.

§. 118. Infinita multiplicitas onerandi modorum, quibus idem scopus, incidentia scilicet centri grauitatis in datam lineam verticalem, obtinetur, adhuc clarius percipietur, si consideremus duo tantum pondera infinitis modis ita disponi posse, vt eorum centrum grauitatis locum non mutet: ac si tria fuerint pondera, numerus modorum ea collocandi fit denuo infinities maior, hocque pacto multi-

plici-

plicitas crescit, quo numerus ponderum sit maior. Cum igitur haec stupenda varietas ex dato centro grauitatis sit orta, perspicuum est eam denuo in infinitum augeri si ponderum imponendorum non ipsum centrum grauitatis, sed tantum linea recta, in quam id cadere debet, praescribatur. Hicque casus ad nostrum praesens institutum est accommodatus, quo ad situm aequilibrii producendum sufficit, si centrum grauitatis totius nauis onustae in datam rectam verticalem incidat.

§. 119. Ob hanc incomprehensibilem multiplicitatem onerationis facillime situs aequilibrii erectus obtineri poterit. Non enim ad onerationem perficiendam tam ad positionem rectae illius verticalis quam ad ipsum situm erectum erit respiciendum. Quamuis enim incognita sit rectae illius positio, tamen onera ita poterunt disponi, vt nauis situm erectum accipiat. Ac si eueniat, vt post onerationem quaepiam nauis pars nimis immergatur, medela in promtu erit, vel oneribus illi parti impositis diminuendis, vel propius versus medium nauis admouendis, quorum vtroque modo eorum momentum diminuitur. Neque vero in hoc negotio ad minutias erit respiciendum, cum nauis in situ aequilibrii firmitatem habere debeat, qua fit, vt, etiam si centrum grauitatis omnium onerum parumper immutetur, tamen inde minima inclinatio a situ erecto oriri debeat.

§. 120. Quoniam autem hoc non obstante accuratam cognitionem positionis rectae illius verticalis, in qua centrum magnitudinis partis submersae est situm, habere conuenit, cum ea non solum ad constructionem nauium sed etiam ad diiudicationem sit necessaria, consideremus

nauem, in qua prora quantumuis dissimilis sit puppi: casus enim, quo hae ambae partes inter se sunt similes et aequales, nihil habet difficultatis, et iam est satis euolutus.

Tab. V. fig. 1. Repraesentet igitur figura α AHEβ planum diametrale eiusmodi nauis, quod cum situs adest erectus, non solum verticale esse debet, sed etiam necesse est, vt lineae AB, ab quae sectiones horizontales dictas repraesentant, secundum horizontem sint dispositae. Sitque ab sectio aquae, ad quam recipiendam nauis etiam nunc vacua debet esse accommodata; atque AB sectio aquae naui onustae respondens.

§. 121. Consideremus primo nauem vacuam, ac cum ea aquae immissa sectio aquae debeat esse ab, erit aHEb pars aquae immersa cuius volumen proportionale erit ponderi nauis: seu posito hoc volumine $=$ V, pondus navis aequale erit ponderi molis aquae volumen V habentis. Sit porro fh recta verticalis, in qua centrum gravitatis istius voluminis V est situm; in eandem ergo rectam verticalem centrum grauitatis nauis vacuae incidere debebit. Ponamus autem nauem iam vtrinque aequaliter esse fabricatam, ita vt eius centrum grauitatis in ipsa plano diametrali sit positum, atque in id tantum inquiramus, per quod centrum grauitatis in ipsam erectam fh constituatur. Ponamus igitur pondus partis nauis, quae ante rectam fh ad proram vsque extenditur, esse $=$ M, reliquae vero portionis post rectam fh ad puppim vsque extantis pondus esse $=$ N; ita vt M $+$ N praebeat pondus totius nauis volumini partis submersae V proportionale.

§. 122. Diuisio nauis in duas has partes aptissime fieri concipitur per sectionem transuersalem ad rectam ab in

in puncto γ normalem, quae partem anteriorem a posteriore discernet. Sit nunc partis anterioris α A bf centrum grauitatis in recta verticali R M r; partis autem posterioris β E bf centrum grauitatis in recta verticali S N s positum. Cum igitur commune centrum grauitatis ambarum partium in rectam fb cadere debeat, oportebit esse M. Mg = N. Ng. Si ergo hae duae partes pondere fuerint aequales, necesse est vt etiam interualla Mg et Ng sint aequalia. At si pondera M et N fuerint inaequalia, tum interualla Mg et Ng eorum rationem inuersam tenere debebunt. Ex quibus perspicitur ad constructionem navium positionem rectae fb omnino debere esse cognitam, ad eamque constructionem dirigi oportere.

§. 123. Non exiguum ad hoc negotium afferetur adiumentum, si nauis per sectionem aquae ab situi erecto nauis vacuae competentem in partem superiorem extra aquam eminentem, et partem inferiorem sub aqua versantem diuisa concipiatur: si enim pars inferior ex vniformi materia constaret, tum eius centrum grauitatis sponte in rectam fb caderet. Tametsi autem ista pars caua esse soleat, tamen non difficulter aberratio eius centri grauitatis ab hac recta fb aestimabitur: sufficit enim in hoc negotio ad veritatem proxime aestimando accedere, neque opus est geometrico rigore; cum per firmitatem naui inducendam omnibus huiusmodi erroribus occurri debeat. Cum autem partis inferioris centrum grauitatis fuerit definitum, facile regulae pro construenda superiori parte formabuntur, vt commune grauitatis centrum in praescriptam rectam fb incidat.

§. 124. Cum igitur nauis vel iam ita erit conſtructa, vt vacua ſitum erectum in aqua obtineat, vel error non nimis magnus, qui forte ſit commiſſus, oneribus quibusdam rite collocatis, erit ſublatus, efficiendum inſuper erit, vt nauis onuſta ſitum teneat erectum: ad quod obtinendum cum formae nauis tum etiam onerationis rationem haberi oportet. Practice quidem nauis ad iſtum ſitum erectum non difficulter inſtruetur: ſi enim recta AB repraeſentet ſectionem aquae ſitui erecto nauis onuſtae convenientem; primo tanta onerum copia imponenda erit, vt volumen AHEB in aquam imprimatur; deinde onera ita diſponi oportet, vt haec ipſa aſſignata pars in aquam ingrediatur. Hocque negotium eo promtius perficietur ſi impoſitio onerum ita dirigatur, vt perpetuo ſectio aquae parallela maneat ſectioni *ab*, hocque modo pergatur donec AB ſuperficiem aquae contingat.

§. 125. Vt autem inueſtigemus, quo pacto tum conſtructio tum oneratio comparata eſſe debeat, ad iſtum ſcopum attingendum; ponamus ſuperficiem ſectionis aquae *ab* eſſe $= E$; ac cum ſectio aquae AB pro naue onuſta illi debeat eſſe parallela, ſit diſtantia harum ſectionum $Cc = h$. erit volumen denouo per onera ſubmergendum proxime $= Eh$; ſi quidem amplitudo nauis per ſpatium Cc fuerit fere eadem. At ſi ſuperficies ſectionis AB multum differat a ſectione $ab = E$, ponatur ſectio AB $= F$; ac volumen inter has ſectiones contentum propius erit $= \frac{Cc(E+\sqrt{EF}+F)}{3}$: conſiderata hac portione, vti ſine notabili errore fieri poteſt, inſtar coni truncati. Ex hoc itaque volumine cognoſcetur quantitas onerum imponendorum;

dorum; ex qua iusta nauis oneratio oritur, simulque pondus nauis onustae innotescit.

§. 126. Ponatur volumen huius portionis nauis inter sectiones horizontales AB et *ab* contentae $= U$; atque cum pondus nauis nondum onustae esset $= M + N$, volumenque partis submersae naui vacuae respondentis $= V$; prodibit quantitas iustae onerum imponendorum copiae $=$ ponderi $\frac{U(M+N)}{V}$. Quoniam autem ante omnia requiritur, vt nauis onustae centrum grauitatis in ipsum planum diametrale incidat, ista onerum copia per cauitatem nauis ita disponi debet, vt eorum commune grauitatis centrum in hoc planum cadat. Huic quidem requisito facile satisfit, disponenda vtraque onerum medietate per ambo latera navis aequaliter. Quo facto simul vtriusque onerum portionis cum parti anteriori $\alpha A bf$ tum posteriori $\beta E bf$ impositae centrum grauitatis in planum diametrale collocabitur.

§. 127. Quia vero in oneratione ad centrum magnitudinis totius partis submersae AHEB est respiciendum, portionis autem aHEb centrum magnitudinis in rectam verticalem *bf* cadit, verticalem illam definiri oportet, in qua centrum magnitudinis partis submersae AHEB erit positum. Hanc in finem ponamus portionis A*ab*B centrum magnitudinis versari in recta verticali C*c*, quae versus proram dissita sit a recta *fb* interuallo $Cg = c\gamma$. Hoc posito centrum magnitudinis partis submersae AHB, quae naui onustae competit, in rectam quandam FH mediam inter C*c* et *fb* cadet. Atque ex natura centri grauitatis erit $V.\ Gg = U.\ GC$. seu $V.\ Cg - V.\ CG = U.\ GC$, ex quo fit $CG = \frac{V.Cg}{V+U}$ atque $Gg = \frac{U.Cg}{V+U}$. Hinc itaque practi-

practice ſatis commode poſitio rectae FH determinabitur, cuius cognitio ad vniuerſam nauium doctrinam ſumme eſt neceſſaria.

§. 128. Retineamus nauis diuiſionem ante factam in partem anteriorem $\alpha A bf$ et poſteriorem $\beta E bf$, diſcrimine poſito in ſectione transuerſali per verticalem fb facta: ſitque onerum parti anteriori impoſitorum pondus $= P$, eorumque centrum grauitatis commune in recta verticali IPt. Simili modo ſit pondus onerum parti poſteriori imponendorum $= Q$, quorum commune centrum gravitatis exiſtat in recta verticali VQv. Cum autem omnium onerum pondus aequale eſſe debeat ponderi $\frac{U(M+N)}{V}$, habebitur haec aequatio $P + Q = \frac{U(M+N)}{V}$: ex qua ſumma onerum $P + Q$ determinatur, diſtributio autem in partes P et Q etiamnum arbitrio relinquitur. Quia ergo totius nauis pondus erit $= M + N + P + Q$, fiet id $= \frac{(V+U)(M+N)}{V}$.

§. 129. Cum igitur ad aequilibrium huius ſitus erecti requiratur, vt totius nauis centrum grauitatis in rectam FH incidat, momenta reſpectu huius rectae cum ipſius nauis tum onerum ſequentem ſuppeditant aequationem $M.\ MG + P.\ PG = N.\ NG + Q.\ QG$. At ſupra ob ſitum erectum nauis vacuae eſſe debebat $M.\ Mg = N.\ Ng$. ſeu $M.\ MG + M.\ Gg = N.\ NG - N.\ Gg$. Cum igitur ſit $Gg = \frac{U.Gg}{V+U}$ erit $N.\ NG = M.\ MG + \frac{U(M+N)Gg}{V+U}$: quae aequatio in ſuperiorem introducta dabit $P.\ PG = Q.\ QG + \frac{U(M+N)Cg}{V+U}$ ſiue $P.\ PG - Q.\ QG = \frac{V(P+Q)Cg}{V+U}$. vnde oritur $P = \frac{U(M+N)QG}{V.PQ} + \frac{U(M+N)Cg}{(V+U)PQ}$ atque $Q = \frac{U(M+N)PG}{V.PQ} - \frac{U(M+N)Cg}{(V+U)PQ}$.

§. 130.

§. 130. Formulae istae atque hinc totius onerationis idea multo fiunt simpliciores, si recta verticalis C c in ipsam $f b$ incidat. Tum enim ob C $g = o$, tota onerationis ratio reducetur ad has duas aequationes $P = \frac{U(M+N)QG}{V.PQ}$ et $Q = \frac{U(M+N)PG}{V.PQ}$. Casus hic quidem in infinitis nauium figuris locum inuenit; at si idem in omnes sectiones aquae medias inter A B et $a b$ aeque competat, tum id aliter euenire nequit, nisi vnius cuiusque sectionis horizontalis intra sectiones A B et $a b$ contentae centrum grauitatis in rectam verticalem $f b$ incidat. Quodsi autem omnes omnino sectiones horizontales ita formentur, vt singulae habeant suum centrum grauitatis in eadem recta verticali situm, tum simul in quocunque situ erecto centrum magnitudinis partis submersae in eandem rectam cadet.

§. 131. Praeterquam autem quod eiusmodi nauis figura iudicium facilius reddat; aliae proprietates, quibus quamque nauem praeditam esse opertet, eandem conditionem requirunt. Ex superiori enim libro intelligitur, atque in sequentibus fusius exponetur, motum reciprocum nauium esse maxime tranquillum, ac succussionibus minime obnoxiVm, si centrum grauitatis sectionis aquae in eandem rectam verticalem cadat, in qua cum centrum grauitatis totius navis tum centrum magnitudinis partis submersae sunt sita. Quare cum quaelibet sectio horizontalis diuersis onerationibus vicem sectionis aquae sustinere queat, necesse est vt omnes sectiones horizontales sua grauitatis centra in eadem recta verticali habeant disposita.

§. 132. Quanquam autem ista ratio ad eas tantum sectiones horizontales, quae intra sectiones A B et $a b$ continentur, proprie pertinet, quippe quae solae vicem sectio-

nis aquae ſuſtinere ſolent, tamen commode eadem proprietas omnibus prorſus ſectionibus horizontalibus tribuitur. Si enim diuerſae ſectiones horizontales ſua centra grauitatis in diuerſis rectis verticalibus haberent diſpoſita, ita vt modo propius ad proram modo propius ad puppim caderent, figura nauis prodiret perquam irregularis; eo quod aliae ſectiones horizontales ampliores forent in parte anteriore aliae in poſteriore, id quod naues vehementer deformaret. Ad hoc accedit, quod, cum haec proprietas per ſpatium C *c* adeſſe debent, eadem ſine laeſione continuitatis reliquis ſectionibus horizontalibus denegari nequeat.

§. 133. Has igitur ob cauſas tanquam vnam ex principalibus regulis figuram nauium ſpectantibus ſtabilimus, per quam omnes naues ita conformatas eſſe oportet; vt ſingulae ſectiones horizontales ſuum grauitatis centrum in eadem recta verticali habeant poſitum. Quae conditio tam etſi figuram nauium non determinat, tamen iam innumerabiles figuras excludit et tanquam ineptas reiicit, ex quo determinatio figurae perfectiſſimae eo facilior redditur, quo magis numerus figurarum, ex quibus electio eſt facienda, reſtringitur. Ad hanc itaque normam conueniet decem ſupra conſtitutas nauium ſpecies examinari, ac ſingulas ſpecies ita inſtrui, vt iſta proprietas in eas cadat. Quod cum euoluemus; commode euenire deprehendemus, iſtam proprietatem aliquibus ſpeciebus iam eſſe propriam, reliquas autem noua determinatione indigere. Quamobrem inſtitutum hoc ſequentes ſingulas memoratas decem ſpecies percurremus, iisque inſignem hanc proprietatem inducemus.

§. 134. Quoniam prima nauium ſpecies alias figuras ſub ſe non complectitur, niſi quarum carinae ſunt parallele-

pipeda

pipeda rectangula, omnes sectiones horizontales erunt parallelogramma rectangula inter se aequalia; earumque adeo centra grauitatis in eandem rectam verticalem incident. Quare si per centrum grauitatis sectionis aquae ducta concipiatur recta verticalis, ea simul per vnius cuiusque sectionis parallelae centrum grauitatis transibit. Omnes igitur nauium figurae ad primam istam speciem pertinentes ista proprietate, qua singulae sectiones horizontales sua grauitatis centra in eadem recta verticali posita habere debent, iam sponte sunt praeditae, neque ad hunc finem vlla nova determinatione aut restrictione habent opus: vnde perspicuum est Arcam Noae ad tranquillam innatationem apprime fuisse accommodatam.

§. 135. Simili praerogatiua gaudent omnes figurae ad speciem secundam relatae, in quibus pariter omnes sectiones horizontales non solum similes sed etiam aequales constituuntur. Sit enim huismodi figurae sectio aquae AEBF, diametro ACB praedita; atque ipsa carina formabitur, dum ista sectio aquae motu sibi parallelo secundum directionem verticalium Aα Bb promoueri concipitur. Ex qua formatione manifestum est, si sectionis aquae centrum grauitatis sit in G, vniuscuiusque sectionis ipsi parallelae centrum grauitatis verticaliter sub puncto G fore positum; ideoque omnium sectionum horizontalium centra grauitatis in recta verticali Gg fore posita. In eadem ergo recta Gg situm erit centrum magnitudinis carinae totius, idque in eius puncto medio O, atque in eandem incidere oportet centrum grauitatis totius nauis. Nullam igitur nouam restrictionem hoc requisitum figuris Tab. V. fig. 2.

ſecundae ſpeciei infert, ſed omnes eadem proprietate iam ſponte ſunt praeditae.

§. 136. Quia in praecedente capite hanc ſpeciem leviter tantum attigimus, eo quod eius proprietates facillime percipiuntur, hic in tranſitu eius praecipuas proprietates notaſſe conueniet. Ac primo quidem manifeſtum eſt ſectionem ampliſſimam E F fe eſſe parallelogrammum rectangulum altitudinem habens C D altitudini carinae aequalem, latitudinam vero E F aequari maximae latitudini ſectionis aquae. Porro omnes ſectiones verticales huic ſectioni ampliſſimae erunt pariter parallelogramma eiusdem altitudinis $Pp = CD$; ſed earum latitudines Q Q reſpondent latitudinibus ſectionis aquae. Deinde tam planum diametrale A B ba quam ſectiones ipſi parallelae omnes erunt pariter parallelogramma, quorum omnium eadem communis eſt altitudo C D: latitudines vero ex data ſectionis aquae figura determinantur.

§. 137. Inquiramus nunc in locum centri grauitatis G ſectionis aquae AEBF, vt poſitio rectae verticalis Gg innoteſcat. Sumta itaque in axe C A abſciſſa $CP = p$, ſit applicata $PQ = q$. Capiatur verſus puppim aequalis applicata $RS = q$; ſitque $CP = p = P + \sqrt{Q}$, exiſtentibus P et Q functionibus quibuscunque ipſius q, quarum altera Q non ſit quadratum; erit $CR = \sqrt{Q} - P$, atque $PR = QS = 2\sqrt{Q}$; rectae igitur QS centrum grauitatis cadet in V exiſtente $QV = SV = \sqrt{Q}$, vnde erit $TV = P$. Multiplicetur per dq, atque inuenietur $CG = \frac{\int pdq\sqrt{Q}}{\int dq\sqrt{Q}}$: ſumtis integralibus vt a valore $q = 0$ vsque ad valorem $q = CE = b$ pateant. Ex quo manifeſtum eſt, ſi ſit $R = 0$ ſeu $TQ = TS$ tum centrum grauitatis G in ipſum

punctum

punctum C incidere, ac tum rectam verticalem G*g* in ipsa sectione amplissima fore positam. Contingit ergo hoc quando prora et puppis eandem habent figuram.

§. 138. Pergamus ad figuras tertiae speciei, cuiusmodi figura citata repraesentat, in qua omnes sectiones transversales EDF eique parallelae sunt inter se aequales et similes. In his igitur figuris non datur sectio amplissima transuersalis, quoniam omnes sunt aeque amplae; atque prora ac puppis terminantur figuris planis H*a*H et I*b*I sectioni cuique mediae EDF aequalibus. Cum itaque in huius speciei figuris sectio aquae sit parallelogrammum rectangulum HHII, eius centrum grauitatis situm erit in puncto medio C axis AB existente AC=BC. Quoniam porro omnes sectiones horizontales reliquae M M N N sunt pariter parallelogramma rectangula longitudinis *mn*=AB, earum omnium centra grauitatis verticaliter sub C erunt sita in punctis G; vnde vniuscuiusque sectionis horizontalis centrum grauitatis in eandem rectam verticalem CD cadet. Tab. VI. fig. 1.

§. 139. Quod igitur ad hoc requisitum attinet, vi cuius omnium sectionum horizontalium centra grauitatis in eadem recta verticali posita esse oportet; eo tres species priores hactenus consideratae iam sua sponte sunt praeditae, neque vlla noua determinatione ad huic conditioni satisfaciendum est opus. Singulae ergo hae species sua natura aquae maxime quiete insidebunt, neque succussionibus erunt obnoxiae, sicut eiusmodi naues, in quibus centrum magnitudinis carinae extra rectam verticalem per centrum grauitatis sectionis aquae ductam cadit Maxime autem diuersae indolis deprehendentur istae species, si cum ad fir-

mitatem, tum vero potiſſimum ad reſiſtentiam atque ad propulſionem reſpiciemus; vbi tam inſignia incommoda ſe prodent, vt nulla harum ſpecierum apta reperiatur tum ad reſiſtentiam facillime ſuperandam, quam ad potentias ſollicitantes ſuſtinendas.

Tab. VI. fig. 2. §. 140. Species quarta eiusmodi ſub ſe comprehendit figuras, in quibus omnes ſectiones verticales plano diametrali ADB parallelae eidem ſint ſimiles et aequales. Huius igitur carinae latera vtrinque terminabuntur figuris planis H*e*I et H*f*I aequalibus et ſimilibus ſectioni diametrali ADB. In huiusmodi ergo figuris ſectio aquae erit parallelogrammum rectangulum HHII, cuius adeo centrum grauitatis cadet in rectae AB punctum medium C. Concipiatur nunc ſectio quaecunque horizontalis MM NN, quae pariter erit parallelogrammum rectangulum, cuius centrum grauitatis vt cadat in punctum G rectae verticalis CD, neceſſe eſt vt ſit $Gm = Gn$: quod cum vbique eſſe debeat, requiritur vt recta CD ſit diameter plani diagonalis ADB. Ex quo ſequitur figuras quartae ſpeciei ad hunc ſcopum non eſſe accommodatas, niſi puppis et prora figuram habeant ſimilem atque aequalem.

§. 141. Secus itaque res ſe habet in hac ſpecie quarta ac in praecedentibus, cum praecedentes ſua ſponte gaudeant ea proprietate, vt omnium ſectionum horizontalium centra grauitatis in eadem recta verticali ſint poſita; haec vero ſpecies limitatione indigeat. Scilicet vt figurae quartae ſpeciei ad hoc requiſitum accommodentur, oportet ſectionem transuerſalem ampliſſimam E*ef*F ſimul carinam in duas partes ſimiles et aequales diſpeſcere. Ex quarta igitur ſpecie iam omnes excluduntur figurae, in quibus puppis

puppis et prora inter ſe ſunt diſſimiles, tanquam penitus ineptae ad naues formandas. Quo circa ex hac ſpecie eae ſolae figurae nobis ad vlteriorem inueſtigationem ſupererunt, in quibus planum diametrale diametrum habet verticalem in ſectione ampliſſima ſitam.

§. 142. Ne autem in ſimili examine ſequentium ſpecierum tam a multiplicatione figurarum, quam earundem perplexitate impediamur, viſum eſt relictis figuris ſtereometricis figuras tantum planas, eas carinae ſectiones repraeſentantes, adhibere, quibus ad explicationem opus habebimus. Seorſim itaque conſpectui exponimus cum tres ſectiones principales cuiusque carinae, tum etiam totidem ſectiones illis reſpectiue parallelas; vnde ſex exoriuntur figurae ſimplices, quas ad ſpeciem quamcunque accommodare licebit. Atque hoc pacto non ſolum diſtinctius omnes partes, quas conſiderari oportet, oculis offeruntur ſed etiam linearum ſectionumque perturbatae declineationes euitantur, quibus figurae ſtereometricae ſolent eſſe obnoxiae.

§. 143. Cuiuscunque igitur ſpeciei carina nobis ſit propoſita, figura prima nobis deſignabit ſectionem aquae, cuius diameter AB, maximaque latitudo EF: ac prora verſus A puppis vero ad B ſita ponitur. Figura ſecunda repraeſentat ſectionem ampliſſimam, ortam ſectione verticali per rectam EF in ſectione aquae facta. Tertia autem figura ſignificat planum diametrale, ſeu ſectionem verticalem per diametrum AB ſectionis aquae factam. Tres hae figurae ſectiones principales exhibentes ita ſunt litteris notatae, vt iisdem lineis punctisque eaedem litterae reſpondeant: ita figurae prima et ſecunda communem habent lineam ECF; prima vero et tertia communem habent lineam

Tab. VII. fig. 1. 2. 3. 4. 5. 6.

lineam AB; ac ſecunda et tertia profunditatem CD habent communem.

§. 144. Vt etiam vbique easdem denominationes retineamus, maneant, vt hactenus poſuimus $AC = a$; $BC = \alpha$; $EC = FC = b$, et $CD = c$. Deinde ſectionis aquae natura exprimatur aequatione inter coordinatas CP et PQ, ſitque conſtanter $CP = p$ et $PQ = q$; vnde aequationem inter p et q ita comparatam eſſe oportet, vt poſito $p = o$ fiat $q = b$, poſitoque vel $p = a$ vel $p = -\alpha$ euaneſcat q, ſi quidem ſectio aquae curua continua cingatur. Pro ſectione ampliſſima ſint coordinatae $CR = r$ et $RS = s$, eademque aequatio pro vtraque ſemiſſe CDE, CDF valebit. Naturam denique plani diametralis contineat aequatio inter coordinatas $CT = t$ et $TV = u$: ac vel eadem aequatione comprehendantur ambae partes ACD, BCD vel diuerſis, prouti hae partes vel continuam curuam conſtituant vel ſecus.

§. 145. Tribus hiſce ſectionibus principalibus conſideratis, quae ad omnes ſpecies pertineant, contemplemur totidem ſectiones iſtis parallelas; ac primo quidem figura quarta exhibeat ſectionem horizontalem quamcunque, ſeu ſectioni aquae parallelam; quae ſectio ſecet ſectionem ampliſſimam per rectam MTM, planum diametrale vero per rectam VTU, vti conuenientia litterarum indicat. Simili modo figura quinta repraeſentet ſectionem verticalem ſectioni ampliſſimae parallelam, ſectionem aquae ſecantem in QPQ, planum diametrale vero in PN. Denique ſexta figura offert ſectionem verticalem plano diametrali parallelam, quae facta eſt per rectam IRK in

ſectio-

ſectione aquae ſumtam, ac per rectam RS in ſectione ampliſſima conſtitutam.

§. 146. Cum igitur intelligatur, quemadmodum ſingulae iſtae figurae ad quamque carinam oblatam ſint referendae, ex iisque ipſa carinae figura determinetur, ad ſequentes ſpecies examinandas progrediamur Primum autem ſe offert ſpecies quinta, in qua omnes ſectiones horizontales cum inter ſe tum ſectioni aquae ſunt ſimiles. Hanc obrem erit $AC : CE = TV : TM$ atque $BC : CE = UT : TM$: ex quo ſequitur ſectionem ampliſſimam in figura ſecunda expreſſam, ac planum diametrale in fig. 3. ita a ſe inuicem pendere, vt altera figura ex altera determinetur. Sumtis enim in CD aequalibus portionibus CT, erit $TV : AC = TM : CE$ atque etiam ex altera parte $TU : BC = TM : CF$: vnde iſtae figurae inter ſe erunt affines; dataque earum altera vna cum ſectione aquae, totius carinae figura determinatur.

§. 147. Cum autem requiratur, vt omnes ſectiones horizontales habeant ſua grauitatis centra in eadem recta verticali poſita; ſi ſectionis aquae centrum grauitatis ſitum ſit in G, ſectionis vero ei parallalae ſeu figurae 4. in g, oportet vt ſit $CG = Tg$, eo quod punctam C et T in eadem recta verticali ſint poſita. At ob ſimilitudinem figurarum eſt $CG : Tg = CA : TV$, vnde duplici modo requiſita proprietas obtinebitur; primo nempe, ſi $CA = TV$, hocque euenit, ſi omnes ſectiones horizontales non ſolum inter ſe fuerint ſimiles, ſed etiam aequales; qui caſus ad ſpeciem ſecundam recidit. Altero autem modo, qui proprie ad hanc ſpeciem ſpectat, requiſita proprietas obtinetur, ſi fuerit $CG = o$. Quocirca figurae huius