

Vols. 1.º e 2.º 22 46

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

REVISTA

DA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

VOL. II — N.º 1



SM
33

A

9

13

COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1932

REVISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS



REVISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS



REVISTA
DA
FACULDADE DE CIÊNCIAS

REVISTA

DE LA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

REVISTA
DA
FACULDADE DE CIÊNCIAS

—
VOL. II



COIMBRA

IMPRESA DA UNIVERSIDADE

1932

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

REVISTA

DA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

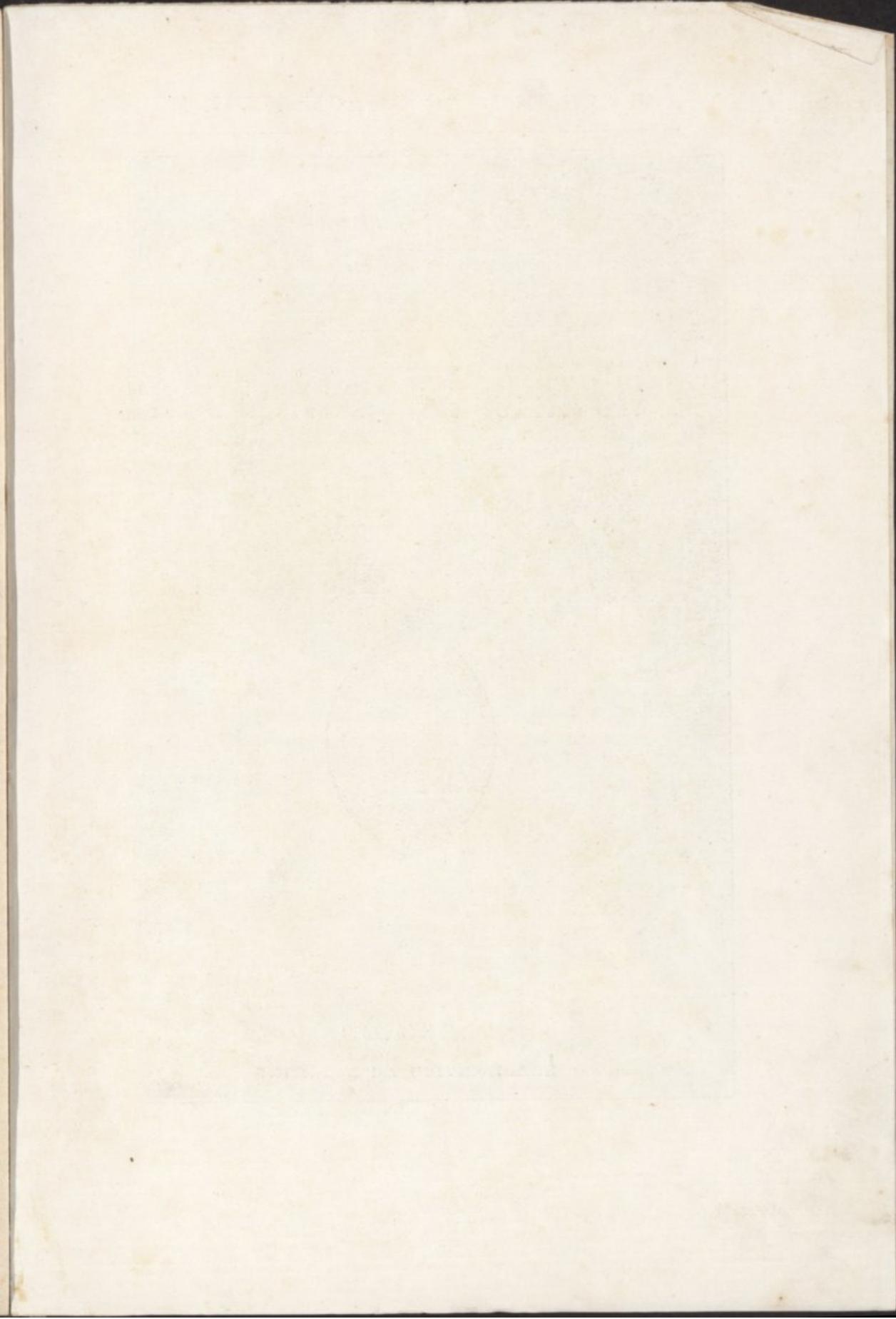
VOL. 41



COIMBRA

IMPRESSÃO DE ...

1978





Comemoração promovida pela Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra em honra de Isaac Newton.

Na Congregação da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, de 28 de Outubro de 1931, foi votada por aclamação a proposta feita pelo Director desta Faculdade para que fôsse tomada a iniciativa da comemoração do sábio Isaac Newton, cujo centenário foi celebrado recentemente, e, como Director do Observatório Astronómico, ajuntou logo que uma das manifestações a realizar seria dedicar-se ao eminente sábio a sala principal do Observatório.

Esta deliberação foi comunicada ao Senado Universitário, que a acolheu com vivo aplauso, e, de acôrdo com Sua Ex.^a o Reitor da Universidade, foram resolvidas as principais manifestações a realizar, para que a referida comemoração decorresse com o maior brilho.

Neste sentido foi resolvido convidar Sua Ex.^a o Embaixador de Sua Majestade Britânica em Lisboa, Sir Claud Russel, e o Director do Observatório de Greenwich, Sir Frank Dyson, e solicitar a cooperação da Faculdade de Letras na sessão solene, a celebrar, a-fim-de que fôsse também apreciado o espírito filosófico da obra de Newton.

Sua Ex.^a o Embaixador Sir Claud Russel amavelmente aceitou presidir à sessão, e Sir Frank Dyson logo comunicou que fazia uma conferência sôbre a obra astronómica de Newton.

Pela Faculdade de Letras o Professor Dr. Joaquim de Carvalho aceitou o encargo que lhe fôra solicitado e escolheu para tema *Newton e o ideal da Ciência Moderna*.

Da Faculdade de Ciências encarregaram-se de estudar determinados aspectos da obra científica de Newton os professores

F. M. da Costa Lobo, sobre *O Principio da Gravitação Universal*; Diogo Pacheco de Amorim, sobre *A Obra Matemática de Newton*; e Mário Silva, sobre *Newton, experimentador*.

Foi também resolvido que em seguida à sessão se realizasse a inauguração da Sala Newton.

À chegada a Coimbra de Sir Russel e de Sir Frank Dyson, a qual teve lugar no dia 25 de Novembro de 1931, eram Suas Ex.^{as} aguardados pelo sr. Reitor da Universidade, Professor João Duarte de Oliveira, autoridades, professores, delegados da Direcção da Associação Académica e muitas personalidades ilustres. Nessa noite o Director da Faculdade de Ciências ofereceu uma recepção em honra dos nossos hóspedes.

No dia 26 Suas Ex.^{as} visitaram a Municipalidade, a Associação Académica e autoridades civis e militares, trocando-se afectuosas e distintas saudações em honra da Inglaterra e de Portugal.

A sessão solene, que foi realizada na Sala Nobre da Universidade pelas 21 horas do dia 26, decorreu com o maior brilho. As exposições feitas, ouvidas com inexcedível atenção, foram calorosamente aplaudidas, e a Sua Ex.^a o Embaixador e a Sir Frank Dyson foi feita uma intensa manifestação de simpatia.

Terminada a sessão, foi no Observatório Astronómico descerrada por Sua Ex.^a o Embaixador a lápide em que se encontra em letras de bronze o nome de Isaac Newton. Foi também descerrado o quadro que contém uma antiga e preciosa gravura de Newton, e esteve exposta a magnífica colecção das obras de Newton que enriquece a biblioteca da Faculdade de Ciências.

Em seguida o Ex.^{mo} Sr. Reitor ofereceu nos Paços da Universidade uma brilhante recepção em honra de Sir Claud Russel e de Sir Frank Dyson.

Para assinalar este notável acontecimento, resolveu a Faculdade de Ciências dedicar-lhe um número especial da sua Revista.

DR. COSTA LOBO.

Palavras
do Ex.^{mo} Sr. Embaixador de Inglaterra, abrindo a sessão

MR. RECTOR OF THE UNIVERSITY OF COIMBRA,

I beg to thank you for your kind words, and to express to you my recognition of the great honour you do me in asking me to preside over this learned and distinguished assembly. It is with extreme diffidence that I accede to your wishes. In accordance with the programme before us, I have the pleasure of calling upon my eminent countryman, Sir Frank Dyson, the Astronomer Royal, to address the meeting.

Discurso de Sir Frank Dayson

I am deeply sensible of the honour you have conferred upon me by inviting me to be present at the inauguration of this room in honour of Newton. It was my good fortune to see frequently that famous statue by Roubiliac at Trinity College, Cambridge.

«Of Newton with his prism and silent face
Voyaging in strange seas of thought alone»

The inscription on the statue is :

«Qui genus humanum ingenio superavit».

This has been accorded to him not only by his own countrymen but by all men of science. Laplace considered that the «Principia» had assured to it «a pre-eminence above all other productions of the human intellect». Lagrange confessed that he was dazed at such an illustration of what man's intellect could achieve. Gauss always applied the epithet «Summus» to Newton. It is therefore very fitting that the famous University of Coimbra should dedicate a room to Newton. We shall to-day pay homage to his genius and endeavour, what will be no easy task, to appreciate his great achievements in Philosophy, Mathematics, Dynamics, Astronomy and Optics.

I shall venture to say a few words on Astronomy particularly on Book III of the «Principia», leaving to subsequent speakers to deal with Newton's great foundations in the philosophy of science and his mathematical discoveries.

Writing in the year 1738, Voltaire narrates that Madame Conduitt, Newton's niece, had related to him that in the year 1666, Newton seeing an apple fall in the garden of Woolsthorpe, meditated profoundly on the cause which draws all bodies in a

line which, if produced, would pass through the centre of the earth. Voltaire then tries to reconstruct the line of thought which led Newton to the law of universal gravitation. Would it act if the apple were a mile high or ten miles high? If so, might it not act so far away as the moon, and this power, whatever it is, be the same as that which keeps the moon in its orbit round the earth, the planets moving round the sun, and its satellites round Jupiter?

Vague ideas were current as to the forces which kept the planets in their orbits. Descartes put forward a theory of vortices in a fluid medium diffused through space. This gave a possible sort of mechanism suggested by water or air whirling on the earth, but the details could not be fitted to agree with the known facts of astronomy. Kepler had suggested an attraction between the planets varying as the inverse square of the distance and had afterwards substituted the inverse distance. Others before Newton may have suggested the inverse square, but were unable to carry the idea further. Newton was able to bring the hypothesis to the stage at which it could be tested by its agreement with phenomena. Assuming that the force by which the earth attracted outside bodies varied inversely as the square of the distance and at the earth's surface caused a body to fall 16 feet in one second, he calculated that, as the moon is sixty times as distant from the centre of the earth, the attractive force of the earth at that distance would pull the moon inwards towards the earth 16 feet in one minute. He then calculated the actual force necessary to keep the moon moving round the earth in 27 days 7 hours at a distance of sixty times the radius of the earth. It is said, but without much evidence, that Newton used the erroneous value of 60 miles for 1° of latitude as the earth's surface employed by mariners to calculate the earth's radius, and was unacquainted with the more accurate measures of Norwood in 1636, which made 1° of latitude 70 miles. He thus obtained a value one-seventh part too small, and in view of this discrepancy for a time turned his thoughts to other things. He may have returned to the subject a few years later when he became acquainted with the results of Picart's triangulation from Paris to Amiens made in 1669-1670.

Though we do not know the precise date when Newton had satisfied himself of the truth of the law of gravitation, in 1684

it was complete, and he could not only demonstrate to Halley that under a law of the inverse square planets would describe ellipses round the sun, but could also promise to send to the Royal Society the mathematical principles of natural philosophy in which the doctrine of universal gravitation is set forth in order and its manifold consequences deduced.

In Book III of the «Principia» Newton begins with the astronomical evidence. The four satellites of Jupiter describe equal areas about Jupiter in equal times; and the squares of their periodic times are proportional to the cubes of their distances from Jupiter's centre. The same is true of the satellites of Saturn. The same holds for the motion of the planets round the sun. The moon, too, if the small disturbances caused by the sun are neglected, describes equal areas in equal times about the earth's centre. It follows from the mathematical demonstration in Book I that the forces which keep Jupiter's satellites in their orbit tend to Jupiter's centre and are inversely as the square of the distances of the satellites from that centre. The same applies to Saturn and its satellites. The movements of the planets round the sun are known to obey these laws of Kepler's with very great accuracy. Consequently this law of the inverse square holds with equal accuracy. The moon, however, does not move accurately in an ellipse, as its apse shifts 3° in each revolution, but this is to be explained by the disturbing action of the sun; but making allowance for this, the force attracting the moon to the earth varies according to the same law of the inverse square of the distance. With the accurate distance of the moon from the earth's centre, the distance it is drawn towards the earth in one minute is calculated, and thus the amount of the earth's attraction at the moon's distance is found. This will be increased 60^2 times at the earth's surface. It is then found to agree exactly with the force which causes bodies to fall at the earth's surface. Thus the force which retains the moon in its orbit is at the earth's surface identical with the well-known property of weight or gravity.

It is, then, gravity which keeps the planets and satellites in their orbits, and all gravitate mutually towards one another with forces which vary inversely as the square of the distance between their centres. Newton now investigates whether he can detect any differences in the gravity of different substances.

He provided two wooden boxes round and equal; filled one with wood, and suspended an equal weight of gold in the centre of oscillation of the other. The boxes, hanging by equal threads of 11 feet, made a couple of pendulums perfectly equal in weight and figure and equally receiving the resistance of the air. In this way he found that the force of gravity is within $\frac{1}{1000}$ th part the same for gold, silver, lead, glass, sand, common salt, wood, water, and wheat. That is, if the resistance of the air were absent, all those bodies would fall at the same rate.

Newton shows point by point that gravity is a universal property of all bodies, dependent solely on the amount of matter they contain. This must hold for the planets, and every part of each planet must gravitate to every part of any other planet, and finally every particle of matter attracts every other particle with a force proportional to the product of their masses and inversely proportional to the square of the distance between them. He then shows that two uniform spheres will attract one another as if their masses were concentrated at their centres. This is perhaps the most splendid piece of geometry ever achieved. It appears to have cost Newton a great deal of thought. He says:

«After I had found that the force of Gravity towards a whole planet did arise from and was compounded of the forces of gravity towards all its parts, and towards every one part was in the reciprocal proportion of the squares of the distances from the part, I was yet in doubt whether that reciprocal duplicate proportion did accurately hold or but nearly so, in the total force compounded of so many partial ones; for it might be that the proportion which accurately enough took place in greater distances should be wide of the truth near the surface of the planet, when the distances of the particles are unequal and their situation dissimilar. But by the help of prop. 75 and 76, Book I, and their corollaries, I was at last satisfied of the truth of the proposition as it now lies before us».

The results which follow the law of gravitation set down in its generality are almost magical. The laws of the movements of the planets round the sun and satellites round the planets follow immediately. Comparison of the dimensions and

rate of description of the orbits give the comparative masses of the sun, earth, Jupiter, and Saturn. The sun is 1060 times as massive as Jupiter and 270,000 times (with the parallax Newton used) as massive as the earth. Thus the earth is found to have a mean density of four times that of the sun, and Newton hazards the guess that the earth's density is between five and six times that of water. The effect of the mutual action of the planets on one another is indicated, and the disturbing action of the sun on the moon is shown to give rise to the revolution of the apse and node, the variation and other inequalities of the moon's orbit. The inequalities known to astronomers were explained and new ones predicted. This complicated problem was carried so far as possible by geometrical methods. Newton said he should give up thinking about the moon, for it made his head-ache.

The figure of the earth is next shown to be a spheroid. Owing to rotation the equatorial diameters of planets must be greater than their polar diameters. Observation showed that this was true in the case of Jupiter, which revolves very rapidly in 9 hours 50 minutes. By considering the equilibrium of water in two channels from the pole and a point on the equator to the centre of the earth, Newton showed that the equatorial diameter of the earth would be $\frac{1}{230}$ th part greater than the polar diameter. Assuming a spheroidal form for the earth, he calculated the length of a degree in different latitudes, and the length of a pendulum beating seconds. He compared these with observations made in various places, such as Paris, Cayenne, St. Helena. This investigation served as a great stimulus and provided a theoretical basis for the more accurate determination of the size and figure of the earth.

The general explanation of the tides was a further deduction from the law of gravitation. Newton showed that the attraction of the moon gave rise to forces tending to heap up the water at a point of the ocean directly under the moon and also at the antipodal point; similarly the sun's attraction tended to cause high water directly under the sun and at the antipodal point. He showed how the spring and heap tides would occur, how the position of the sun or moon, north or south of the equator, would affect the tides and how they would vary in different latitudes. By comparing the heights of the spring and heap tides he concluded that the tide-raising force of the moon

was 4.48 times that of the sun. Knowing the mass of the sun he finds it should raise a tide of 1 ft. 11 in. in the open sea, and infers for the moon one of 8 ft. 8 in. Newton gave only an elementary theory of the tides, indicating the causes which produced their main features, and left to his successors the difficult problem of a dynamical theory.

Just as the moon produces tides on the earth, so the earth would produce tides on the moon. As the period of revolution of the moon is the same as its period of rotation on its axis, the moon always presents the same face to us. If the moon were covered with water, the water would be heaped up at the part facing the earth and the part diametrically opposite. So Newton infers that the moon has a spheroidal figure, the longer axis pointing to the earth, and being 186 feet in excess of the equatorial diameter.

The precession of the equinoxes is explained as due to the attraction of the sun and moon on the spheroidal part of the earth. Newton has shown how the attraction of the sun on the moon produced a movement of the nodes of the moon's orbit. In other words, a line drawn perpendicular to the plane in which the moon is moving will trace out a cone in $18\frac{1}{2}$ years. He deduced what would be the movement of the nodes of the orbit of a little moon near the earth's surface, revolving in a sidereal day. The same thing would happen, he says, to a ring of moons, whether they did not eventually touch each other or whether they were molten and formed a continuous ring. Next let the ring of moons be attached to the sphere and communicate its motion. Thus the axis of a mass composed of the ring and sphere together will have movement due to the sun of 9 annually, and the effect of the moon is in the proportion of the tide-raising force of the two bodies. Airy remarks: «If at this time we might presume to select the part of the «Principia» which probably astonished and delighted and satisfied its readers more than any other, we should fix, without hesitation, on the explanation of the precession of the equinoxes».

A good deal of space in Book III is given to comets. Tycho Brahe had shown that they moved in the celestial spaces and did not belong to our atmosphere. Newton regarded them as bodies like the planets, but moving in very elliptic, or nearly parabolic orbits, and showed how from three observations their

paths might be determined. The tails arise from the atmosphere of the heads, their great length and splendour being due to the heat which the sun communicates to the comet when near it. He notes that the perihelion distance of some comets is very small, that of 1680 being only one-sixth of the sun's diameter from the sun's surface. Owing to resistance it is possible they may, in course of time fall into the sun. He hazards the suggestion that fixed stars may be recruited by the fall of comets into them, and here may be a possible explanation of the new stars which have appeared from time to time.

There are two other contributions of Newton to astronomy to which I should like to make a brief reference. In the «System of the World», a work which Newton intended at one time to form Book III of the «Principia», there is a little-known estimate of the distance of the fixed stars. As it was one hundred years before any better estimate was obtained, I venture to direct attention to it. The disc of Saturn, Newton says, is 17" or 18" in diameter. It receives $\frac{1}{2,100,000,000}$ th of the sun's light. If we suppose Saturn to reflect $\frac{1}{4}$ of the light it receives, the whole light reflected from its illuminated hemisphere will be $\frac{1}{4,200,000,000}$ th of the light emitted from the sun's hemisphere. If the sun were $10,000\sqrt{42}$ times more distant than Saturn, it would yet appear as lucid as Saturn now does without its ring. Let us, therefore, suppose that the distance from which the sun would shine as a fixed star to exceed that of Saturn by about 100,000 times. This gives 0".2 as the annual parallax of a first magnitude star and 0".002 as its diameter. Newton answers the objection that light may be absorbed in its passage through space, for in that case the remoter stars would scarcely be seen.

We may also recall the fact that Newton was the first person who actually constructed a reflecting telescope. He gives an account in the Phil. Trans. Roy. Soc. of the chemical experiments he made for the best composition of speculum metal. The use of pads of pitch on which rouge is spread for polishing mirrors and lenses was invented by him. I believe instrument-makers have found no better materials since.

Returning to Book III. of the «Principia», nowhere has so much been comprehended in so few words as in the law of gravitation. It does not explain to us why the moon and planets

move as they do, but it does show us how they move and enable us to calculate their movements. Generations of mathematicians and astronomers have employed large parts of their lives in tracing its consequences in most intricate details, comparing the results with observations, and discerning the past and future history of the solar system. Laplace, perhaps the most illustrious of Newton's followers, says «the number and generality of Newton's discoveries relative to the system of the world, the multitude of original and profound views, which have been the germ of the most brilliant theories of the geometers of the last century, will assure to the «Principia» a pre-eminence above all other productions of the human intellect».

A obra matemática de Newton

A obra matemática de Newton é tão vasta e variada, que para a estudar ponto por ponto, ainda que dum modo sumário, seria preciso um volume, e não pequeno.

Para meter tão vasto objecto dentro do limitado espaço duma conferência, dois caminhos se apresentam: o da simples enumeração dos seus livros acompanhada da indicação dos assuntos originaes nêles tratados; ou então o da escolha dos pontos essenciaes da sua obra, para mostrar ao mais erudito dos auditórios do meu país a ciclópica grandeza do seu tamanho e a admirável beleza do seu conjunto.

A primeira solução seria imprópria para esta sala, imprópria para o génio que hoje festejamos e até imprópria para o illustre Embaixador de Sua Majestade Britânica que gentilmente nos quis honrar hoje com a sua assistência a esta festa.

Imprópria para esta sala, dizia, por não adequada ao fim que se propõe esta sessão, que é o de apresentar à nação portuguesa a figura de Newton em tôda a sua grandeza e esplendor.

Imprópria para o génio a que é dedicada, porque lhe reduziria a retalhos aquella extraordinária obra matemática que êle concebera, não em pequenas parcelas de verdade, mas em vastísimos, em assombrosos conjuntos. Newton não descobriu só teóremas e fenómenos isolados. Descobriu ciências inteiras! Trazer para aqui, parcela a parcela, a obra matemática d'êste géometra único, seria tarefa de anatomista, descarinhosa e fria, e por isso mesmo imprópria para o illustre Embaixador da Grã-Bretanha, cuja presença, que tanto nos honra e desvanece, mudamente nos recorda que Newton é inglês. E para nós, portugueses e patriotas, que acima de tudo queremos conservar, contra tudo e se fôr preciso contra todos, aquella liberdade a cuja sombra descobrimos novas terras e novos céus; para nós,

portugueses e patriotas, depois de «o ser ou não ser português» está «o ser ou não ser inglês».

* * *

Definido está, meus senhores, o meu programa de hoje. Programa bem modesto para honrar tão grande génio. Programa desmedidamente grande para as minhas débeis forças.

Para facilitar o meu trabalho, tomarei para fundo do bosquejo da obra matemática de Newton uma rápida e sumariíssima biografia do autor. Com ela farei sobressair melhor, se não a obra matemática em si mesma, pelo menos a grandeza quási sobrehumana do génio de quem a fez. Aquela grandeza que levava o seu contemporâneo Marquês de l'Hôpital, conhecido como o mais erudito dos fidalgos e o mais fidalgo dos eruditos, a perguntar aos ingleses (1) com quem se avistava, se o seu Newton comia e dormia como os outros homens, porque elle só o podia conceber qual génio alado, de todo desprendido da matéria corpórea.

MINHAS SENHORAS E MEUS SENHORES:

No dia de Natal do ano de 1642 nasce Isaac Newton, em Woolsthorpe, aldeia do condado de Lincoln.

Filho póstumo de João Newton, veio ao mundo tão franzino, por nascer antes do tempo, que ninguém pensou que vingasse.

Andava em três anos quando sua mãe, para tornar a casar, o entregou aos cuidados da avó. Aos doze, vai estudar para Grantham, onde mostra desde logo grande habilidade para a mecânica. Diz-se que foi então que construiu um relógio de água, de grande precisão para o seu tempo.

Passados dois anos regressa a casa, para aprender a administrar o seu património. Mas os cuidados da lavoura importam-lhe tão pouco, e os livros, pelo contrário, prendem-no tanto, que sua mãe resolve mandá-lo de novo para Grantham continuar os seus estudos. Em 1660 Newton matricula-se no Colégio da Trindade em Cambridge. De ciências exactas nada sabe

(1) *De vita*, in *Opuscula*, t. I.

ainda, a-pesar-de ter já 18 anos. Apenas conhece a lógica de Sanderson, que então servia de preparatório às Matemáticas. Diz-se que foi um livro de astrologia, comprado por acaso numa feira, que despertou a curiosidade de Newton por estas ciências. Para se iniciar comprou os elementos de Euclides; mas a doutrina pareceu-lhe tão simples e clara que se aborreceu dela e os pôs de parte, passando logo ao estudo dos modernos.

Sabe-se pelas suas notas de despesa que comprou a Miscelânea de Schooten, a Geometria de Descartes e as obras de Wallis, pouco antes do Natal de 1663.

Estudando na *Arithmetica Infinitarum* a lei de formação dos coeficientes das séries, por cuja interpolação Wallis exprime as áreas do círculo e da hipérbole, Newton descobre, aos 22 anos (1), o notabilíssimo teorema do desenvolvimento do binómio (2). Verifica que êste desenvolvimento, no caso da raiz quadrada, se pode obter procedendo como na Aritmética, *modo arithmetico*, e isto sugere-lhe o processo da divisão para desenvolver, em séries de potências, as funções racionais.

* * *

Os desenvolvimentos em séries de potências tinham naquele momento uma importância capital, porque Wallis conseguira quadrar, pelo *método dos indivisíveis*, todos os termos delas. O problema das quadraturas ficava assim reduzido ao dos desenvolvimentos nestas séries.

Wallis, porém, não conseguira métodos gerais para desenvolver as ordenadas das curvas em séries de potências das abcissas, e daí a necessidade, que teve, de recorrer, logo no caso do círculo, ao método de interpolação, extremamente difícil de manusear. Senhor dos seus dois métodos para obter desenvolvimentos em série, Newton põe de parte a interpolação para obter as quadraturas, porque, como êle mesmo o diz (3), aquelas operações (divisão e radiciação) lhe pareciam fundamento mais natural; applica os desenvolvimentos em série à resolução das

(1) *De Vita*, l. c.

(2) Carta a Oldemburgo de 14 de Outubro de 1676, l. c., t. I, pág. 329:
« Sub inicio studiorum meorum mathematicorum, considerando series, etc. »

(3) L. c., pág. 332.

equações numéricas e em seguida às literais (1). Destas, passa para os desenvolvimentos das funções algébricas implícitas. Por fim, descobre um novo método de obter séries resolvendo o problema da inversão das séries conhecidas pelo método dos coeficientes indeterminados (2).

Sobre as bases em que Wallis assentara o problema das quadraturas não era possível erguer mais alto monumento!

* * *

Mas as séries são, ainda hoje, instrumentos de análise de manejo assás difícil e trabalhoso. E embora naquele tempo fôssem de todo descabidas as preocupações de rigor formal de que tanto se prezam os analistas modernos, a verdade é que o problema da sua convergência já fôra pôsto por Gregory. Para usar, como processo de demonstração, dos desenvolvimentos em série, era preciso, pois, estudar a sua convergência, o que mais complicava ainda o uso delas.

Por outro lado, o problema das quadraturas, que era o problema máximo daquele tempo, nada tinha que ver, pelo menos em princípio, com o problema dos desenvolvimentos em série. Acrescia ainda que o método das séries levava sempre a desenvolvimentos infinitos, quando havia quadraturas já feitas que se exprimiam com um número finito de termos, e de esperar era que a muitas outras ainda não feitas pudesse suceder o mesmo.

Estas razões bastam para mostrar como era acanhado e difícil o terreno para que Wallis trouxera o célebre problema que havia mais de dois mil anos já que fôra pôsto e ainda não tivera solução satisfatória!

Não admira, pois, que o grande espírito de Newton procurasse levar o problema das quadraturas para terreno mais amplo e unido. E, descendo logo ao íntimo da questão, Newton vê que tinha de pôr de parte, não só o caminho de Wallis e o método dos indivisíveis que o lá levava, mas até a própria concepção em que este famoso método se fundamentava. E reflectindo na essência das quantidades geométricas, onde os seus contemporâneos viam uma geração por agrupamento de partes indivisí-

(1) L. c., págs. 3 e seg.

(2) L. c., pág. 356.

veis, Newton considera um movimento contínuo. Assim, para Newton, uma linha, por exemplo, não é uma sobreposição de infinitos pontos, mas o caminho descrito por um ponto em movimento. À concepção dos *indivisíveis*, Newton opõe a da *continuidade*. É ele mesmo que o diz na introdução ao seu tratado *De Quadratura Curvarum*: «Quantitates Mathematicas, non ut ex partibus quam minimis constantes, sed ut motu continuo descriptas hic considero.»

No caso particular duma área plana, limitada por uma curva, por um eixo e por uma ordenada, Newton vê que a área se pode supor gerada pelo movimento contínuo da ordenada ao longo do eixo, e que os acréscimos nascentes, como ele diz, da área, descritos em tempos infinitésimos iguais, estão entre si como as ordenadas que os geram.

Mais constata Newton que a razão dos acréscimos nascentes da área e da abscissa é igual à própria ordenada. Newton determina com toda a facilidade esta razão no caso de a área ser proporcional a uma potência qualquer da abscissa e estabelece a regra da derivada da potência. Com a regra inversa, visto que a derivada duma potência é ainda uma potência, Newton passa da ordenada para a área. Era a solução geral do problema que Wallis, com muito trabalho, resolvera pelo método dos indivisíveis, mas que só demonstrara no caso dos expoentes inteiros, e não todos.

Mas, sendo todas as quantidades matemáticas susceptíveis do mesmo modo de geração que as áreas planas, era manifesto que a doutrina aplicável a estas também o seria a todas as outras. Bastaria representar as *velocidades* de crescimento por *ordenadas* proporcionais.

«E, pensando nisto, diz Newton, fui caindo a pouco e pouco no método das fluxões, aí pelos anos de 1665 e 1666.» (1).

Há, porém, um manuscrito de Newton, datado de 28 de Maio (2) de 1665, que mostra que, nesta data, já ele tinha inventado o método das Fluxões. Tendo Newton comprado as obras de Wallis em fins de 1663, em menos de ano e meio dava ao método das séries um alcance que nem o próprio Wallis sonhara e descobria um novo método, que não só resolvia o

(1) L. c., t. I, pág. 204.

(2) Rouse Ball, *History of Mathematics*.

problema das quadraturas, mas ia servir de base a todos os progressos ulteriores das Matemáticas Puras e Aplicadas. E isto sem alterar o ritmo da sua formatura, pois nesse mesmo ano de 1665 recebia o grau de bacharel!...

* * *

Newton chama *fluente* a tóda a quantidade variável e *fluxão* à velocidade com que variam os fluentes. Fazendo a fluxão da abcissa igual à unidade, a *fluxão* da área é igual à ordenada, como Newton foi o primeiro a demonstrar. Esta é a verdade fundamental do Cálculo das Fluxões. Com a sua descoberta, Newton desvendava o segrêdo do método dos limites, misteriosa esfinge que, desde os tempos remotos de Tales de Mileto, desafiava impunemente a sagacidade dos géometras!

* * *

Resolvido o problema das quadraturas, Newton passa ao estudo do problema das tangentes e ao das curvaturas que o seu método resolvia com maior facilidade ainda. Existe um manuscrito, datado de 16 de Novembro dêste mesmo ano de 1665, em que Newton aborda estes dois problemas com o método das fluxões.

* * *

Neste entrementes sobrevém uma peste. Newton sai de Cambridge, vai para sua casa e, como êle mesmo o diz na segunda carta a Oldemburgo (1), começa a pensar noutros assuntos.

* * *

Na sua « Epistula de Luce et Coloribus » Newton conta como no ano de 1666 chegou à descoberta da verdadeira razão do desdobramento da luz solar nas suas diversas côres, pelo prisma de vidro. E, no decurso dêsse mesmo ano, lança os fundamentos da sua admirável Óptica, tão diferente das antigas, diz um comentador daquele tempo, que parecia uma ciência nova.

(1) L. c., t. I, pág. 332.

* * *

Newton aliava a uma nunca vista imaginação criadora um raríssimo poder de observação. Foi observando e generalizando que Newton chegou às suas descobertas, mesmo matemáticas. Foi observando os desenvolvimentos de Wallis que descobriu a fórmula do binómio. Foi observando a geração das áreas pelo movimento duma ordenada que chegou ao teorema fundamental do Cálculo das Fluxões. É por isso que tem grandes visos de verdade aquele caso do pomo, que os autores do tempo dizem ter sucedido nestas férias involuntárias. Passeava Newton no seu pomar, profundamente embebido em suas meditações, como costumava, quando um fruto se desprende duma árvore e vem desviar o curso do seu pensamento para a gravidade, força tão familiar e ao mesmo tempo tão estranha que apenas se sabia dela que o homem a encontrava sempre e sempre igual a si mesma, desde as mais baixas profundidades a que podia descer aos mais altos píncaros a que já subira. ¿Mas chegaria esta misteriosa força a toda a parte? ¿Quais seriam os limites do seu campo de acção? ¿Dentro desse campo seria sempre a mesma?

Diz Bergson, que pôr bem um problema é resolvê-lo já, e, neste caso, assim teria sido, se não andasse errado em mais de 15 % o valor do raio da terra vulgarizado pelos livros de geografia e de navegação. Newton teve desde logo a intuição da verdadeira lei da gravidade, mas viu-a desmentida pelo movimento da lua, devido a esse erro num dos dados fundamentais do problema.

* * *

A-pesar-do grande número de descobertas já feitas, Newton nada publicara, nem tinha ainda idea de publicar. Apenas ia comunicando os resultados principais a que chegava, a alguns amigos mais íntimos, entre os quais se contava Barrow, seu ilustre e muito querido mestre em Cambridge.

* * *

Em 1667 a peste acaba e com ela, as forçadas férias. Newton regressa a Cambridge, trazendo no seu activo o desenvolvimento do Cálculo das Fluxões, os fundamentes da sua Óptica e o problema da gravitação posto no campo onde elle tinha de ser estudado e resolvido. Neste mesmo ano é agregado ao Colégio da Trindade, onde passa a residir. No ano seguinte recebe o grau de *mestre em artes*.

Em Setembro d'este mesmo ano de 1668, Mercator publica a *Logarithmotechnia*, obra em que usa do método da divisão, *modo arithmetico*, para obter um desenvolvimento em série de potências, por meio do qual faz a quadratura da hipérbole. Collins remete um exemplar da obra a Barrow, para Cambridge. Barrow, vendo lá usado um dos métodos de Newton, remete a Collins cartas do seu jovem amigo, por onde se via que este não só resolvera, havia anos já, aquele problema particular, mas dera métodos gerais para resolver muitos outros, a saber, a quadratura das áreas limitadas por quaisquer curvas dadas pela sua equação, o comprimento das mesmas curvas, o centro de gravidade das figuras, o volume e a superfície dos sólidos de revolução, etc.

A obra de Mercator, longe de levar Newton à publicação das suas admiráveis descobertas matemáticas, fêz apenas com que começasse a pensar menos nelas, «suspeitoso, diz elle próprio, de que Mercator (1) conhecia já o seu método da extracção das raízes; ou que outros, uma vez divulgado o método da divisão, o viriam a descobrir e ao mais, antes de que elle, Newton, estivesse em idade de escrever para público.»

Admirável exemplo de modéstia dado por um jovem que, sendo um dos maiores génios que o mundo viu, se considerava ainda aos 25 anos não maduro para escrever para público; e calculava que muitos haveria que, postos por Mercator na sua peugada, em breve o alcançariam e porventura lhe passariam adiante.

Em 1669 Barrow renuncia à sua cátedra em favor de Newton.

(1) 1.^a Carta a Oldemburgo, pág. 333, l. c.

De posse dela, Newton ensina neste ano e no seguinte as suas lições de Óptica. Em 1670 começa a sistematizar o seu método das Fluxões debaixo do título de « *Methodus Fluxionum et Serierum infinitarum* » com o fim de o meter como introdução à « *Analysis speciosa* » de Kinckhuysen, cuja tradução estava a preparar para o prelo. Mudou porém de parecer e resolveu publicar o seu método juntamente com o *De Refractione Lucis et Coloribus*, que, já concluído em 1671 (1), resolvera publicar a pedido dos amigos.

Naquele tratado das Fluxões, Newton, depois de expor o seu método de resolução das equações por meio das séries infinitas, passa à explicação desenvolvida do método das fluxões. Daí, à resolução dos dois problemas fundamentais: dada uma relação entre dois fluentes, achar a relação correspondente entre as fluxões. Dada uma relação entre duas fluxões, achar a correspondente entre os fluentes. Na linguagem de hoje, o primeiro problema é o do cálculo das derivadas das funções implícitas e explícitas; o segundo é o dos integrais indefinidos e das equações diferenciais. A seguir vêm as aplicações ao cálculo dos máximos e mínimos, ao problema das tangentes, e ao das quadraturas, cujas afinidades ocultas o cálculo das Fluxões viera revelar; e, por fim, vem a aplicação ao cálculo do comprimento das curvas.

Com esta obra ainda entre mãos, Newton, comunica à Sociedade Real de Londres os seus trabalhos sobre Óptica, numa memória que foi publicada nas *Transacções Filosóficas* de 19 de Fevereiro do ano seguinte. A 28 de Março deste mesmo ano sai nova memória de Newton sobre o seu telescópio catadíoptrico, onde expõe as suas opiniões sobre a natureza da luz. Mas tão vivas polémicas se levantam em volta desta memória, Newton recebe e tem de responder a tantas cartas, que põe imediatamente de parte a idea da publicação dos seus tratados sobre a luz e sobre as fluxões, este ainda incompleto e aquele já concluído. E tão enfadado fica destas controvérsias que ainda em 1676, na já mencionada carta a Oldemburgo (2), se arguia a si mesmo de imprudente, « porque — dizia elle — para

(1) L. c., t. I, pág. 334.

(2) Carta de 27 de Agosto de 1676.

apanhar uma sombra, deixara a realidade substancialíssima do seu sossêgo. »

* * *

Em 1673, Newton passa a ensinar álgebra em Cambridge. Em 1675, apresenta à Sociedade Real a sua teoria da luz corpuscular.

No inverno de 1675-76, Newton, talvez influenciado por uma obra recente do Dr. Roberto Hook, volta de novo a pensar no problema da gravitação, e, partindo da hipótese de a gravidade variar na razão inversa do quadrado das distâncias, como era pedido pela terceira lei de Kepler, demonstra as outras duas leis, isto é, a das áreas e a das órbitas elípticas. Para tanto, Newton teve de estabelecer, pelo menos, os princípios fundamentais da sua notabilíssima teoria das forças centrais. Dois anos depois, ou seja em 1679, Newton recebe uma carta de Hook pedindo-lhe que comunique à Sociedade Real as suas últimas descobertas e remetendo-lhe juntamente a medida suficientemente aproximada que Picard havia pouco achara para o raio da terra. Newton refaz os seus cálculos de 1666 e chega aos resultados que esperava. A lua era mantida na sua órbita pela simples acção do seu pêso e eram forças análogas a esta que conservavam em equilíbrio o universo !

Estava consumada a mais retumbante das descobertas de Newton e por certo que a mais arrojada e grandiosa que o espírito humano jámais concebeu. De posse desta lei, já agora experimentalmente verificada, Newton volta ao estudo das forças centrais e demonstra, a partir dela, as três leis de Kepler. Em Agosto de 1684, Halley vai a Cambridge conferenciar com Newton sobre o problema da gravitação, por que grandemente se interessava também. Conta-lhe que havia muito que suspeitava de que a variação da gravidade fôsse na razão inversa dos quadrados das distâncias, mas que tivera de parar com suas investigações por lhe não ter sido possível determinar a forma das órbitas que dessa hipótese resultavam. Newton diz-lhe que são elipses e promete mandar-lhe a prova disso, o que faz em Novembro seguinte. Halley volta a Cambridge e vê um tratado sobre o movimento dos corpos que Newton preparara desde Agosto. Insta com êle para que comunique êsse trabalho à

Sociedade Real. Newton promete e manda uma memória em Dezembro. Logo Halley e a Sociedade Real lhe pedem instantaneamente que desenvolva a sua admirável teoria. Halley pronuncia-se a tomar à sua conta as despesas e os cuidados da edição. Newton acede.

* * *

Tomara Newton com o seu amigo Halley e com a Sociedade Real um compromisso formidável.

Para fazer a teoria matemática do sistema do Mundo, Newton tinha não somente de resolver complicadíssimos problemas de mecânica, mas de criar uma mecânica nova, porque a do seu tempo de pouco lhe servia.

Para tanto, estabelece os princípios fundamentais indispensáveis para estudar a dinâmica do ponto material. Sistematiza e completa a sua teoria das forças centrais. Como as órbitas dos planetas são secções cónicas, Newton familiariza-se, se o não estava já, como é de supor, com a geometria dos antigos que o enche de assombro e lhe faz lamentar não ter começado por ela os seus estudos matemáticos (1). Tanta foi a admiração que lhe despertaram os trabalhos de Euclides, Apolonius, Arquimedes, Pappus e outros sábios da antiguidade, que chegou a dizer que se as obras dos antigos se não tiveram perdido em grande parte, nada mais seria preciso acrescentar aos estudos matemáticos!

Da geometria dos antigos, que elle maneja e interpreta à maravilha, e do seu método das fluxões, Newton tira a aparelhagem matemática necessária para levar a cabo a sua obra máxima.

Feita a dinâmica do ponto e a teoria das forças centrais, estava dado um grande passo, mas apenas um passo... Sendo a gravitação uma consequência do peso da matéria, era manifesto que o movimento de cada um dos corpos do sistema planetário era resultante das acções mútuas das suas partículas sobre as partículas de todos os outros.

O problema que Newton se propunha resolver não podia

(1) *De Vita*, fim.

considerar-se como incluído na dinâmica do ponto material. Era problema muito mais complexo, visto que Newton se propunha explicar, não só os movimentos dos centros dos planetas, mas também os movimentos em volta desses centros e, dum modo geral, todos os fenômenos que tinham por causa a gravitação; como as marés, por exemplo.

Ora, a tanto não chegava a teoria das forças centrais. A própria lei da gravitação, visto que tinha de entender-se a respeito de cada uma das partículas materiais constitutivas dos corpos celestes, fêz surgir no espírito de Newton a dúvida (1) de se a lei entendida a respeito das massas totais dos planetas, supostas condensadas nos seus centros, não seria apenas aproximada, com erros insensíveis para as grandes distâncias a que os planetas estão uns dos outros, mas podendo dar erros grandes à superfície desses astros. Grande dificuldade esta, se para Newton houvesse dificuldades, que não havia. Três meses ainda não volvidos sobre o seu compromisso com Halley, já ele tinha resolvido este ponto e os mais que dele dependiam, estabelecendo, dum modo elegantíssimo, as principais proposições da teoria que hoje se chama do potencial newtoniano.

Quatro meses depois tinha passado a limpo a doutrina que acabamos de enumerar e que, em estilo por muitos acusado de extremamente conciso, deu um volume em 4.º, de 548 páginas, onde tudo é, pode bem dizer-se, matéria original!

* * *

A obra que Newton fizera desde Dezembro de 1684 ao verão do ano seguinte, a-pesar-de gigantesca, não era ainda alicerce bastante largo para nêle assentar a exposição matemática do Sistema do Mundo. Newton precisa também dum estudo aprofundado e absolutamente novo dos movimentos de translação, rotação e pendulares, dos corpos nos meios resistentes. Precisa de sistematizar e desenvolver a hidrostática e a hidrodinâmica, precisa de estudar as leis da propagação das pressões e das ondas nos fluidos. Estuda ainda as resistências opostas por

(1) *Principia*, vol. III, 1.ª parte.

um fluido ao movimento de rotação uniforme dum cilindro e duma esfera, para poder refutar a teoria dos turbilhões de Descartes, naquela parte applicável à teoria da gravitação universal. E a tal ponto o fez, que pôde fechar a exposição desta doutrina, afirmando que a teoria dos turbilhões está em desacôrdo com as leis do movimento e com os fenómenos astronómicos e só pode servir para perturbar os movimentos celestes, que não para os explicar (1).

Antes do verão do ano seguinte, Newton tem tóda esta doutrina estudada, demonstrada e passada a limpo, doutrina que, depois de impressa, encheu um volume, também em 4.º, de 422 páginas de texto!

Passados dez meses está pronto o terceiro livro, contendo o Sistema do Mundo, e Newton desempenhado do compromisso que tomara dois anos antes.

Neste mesmo ano sai em Londres a primeira edição desta obra imortal, com o título de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Passa-se isto em 1687, tendo Newton 45 anos incompletos.

* * *

Esta obra assombrosa, que ainda hoje é o mais alto e grandioso monumento da ciência humana, não foi acolhida pelo público erudito com aquele entusiasmo que os amigos íntimos de Newton esperavam. Mas a obra era tão grandiosa e ao mesmo tempo tão nova, que maravilha seria se logo fôsse compreendida do grande número. O génio de Newton voava nela tão alto que só os linceos o poderiam ver num relance. Não tardou, porém, que os aplausos comesçassem a chegar de tóda a parte e Newton subisse no conceito dos homens de ciência àquela altura em que o vemos e que por ninguém foi ainda excedida nem o será porventura jámais. O nome de Newton ficará eternamente vinculado à Mecânica racional, como o de Euclides à Geometria e o de Aristóteles à Metafísica.

(1) *Principia*, vol. II, fim.

* * *

Neste mesmo ano de 1687, Newton é enviado à côrte, como representante da sua Universidade, cujos privilégios tinham sido atacados pelo rei Jaime II, contra cuja política se estava levantando em todo o país grande reacção. No ano seguinte o rei é destronado e Newton é eleito deputado pela sua Universidade. Em 1690 o Parlamento é dissolvido, Newton regressa a Cambridge e retoma os seus trabalhos matemáticos.

Dois anos depois, em 1692, escreve a Wallis duas cartas explicando o seu método das fluxões. No fim dêsse ano adoece gravemente duma doença nervosa que o afflige durante dois anos. Passada ela, Newton começa a preparar a segunda edição dos *Principia*. Em 1696, um incêndio devora grande número dos seus manuscritos. Neste mesmo ano é nomeado Intendente Geral da Moeda pelo Chanceler Montaigne, depois Conde de Alifax. Os serviços prestados por Newton neste cargo, como reformador dos serviços da cunhagem da moeda, foram de rara importância. Newton passa desde logo a viver em Londres; tinha então 54 anos e mantinha intactas tôdas as suas faculdades de géometra e de investigador. A sua obra criadora como matemático, estava, porém finda. O fio das grandes e geniais ideas que lhe floresceram na juventude, o cálculo das Fluxões, a Óptica, a gravitação, já Newton o seguira até ao fim. As mágicas flores do pensamento, que lhe engrinaldaram a primavera da vida, volvidos 30 anos, tinham dado os seus assombrosos frutos. E sendo «a vida como o lótus, que floresce apenas uma vez», a obra criadora de Newton no campo da matemática estava irremediavelmente finda. O seu génio criador continuou, porém, a florescer noutros campos.

* * *

Em 1699 é nomeado Director da Casa da Moeda (cargo que lhe dá 1.500 libras anuais) e feito sócio da Academia Real das Ciências de Paris. Em 1701 é de novo eleito deputado, como representante da sua Universidade; em 1703 é eleito Presidente da Sociedade Real de Londres, cargo que não mais deixa até morrer.

Em 1704 publica a sua *Optica*, trazendo como apêndices o *Tractatus de Quadratura Curvarum* e a *Enumeratio Linearum Tertii Ordinis*. Em 1705 é feito cavaleiro pela Rainha Ana. Em 1707 foi editada a *Aritmetica Universalis*. Diz Castellano (1) que a obra foi tirada dos arquivos da Universidade de Cambridge, onde era costume ficarem as lições professadas pelos catedráticos, e que a publicação se fez a ocultas do autor, que caíu doente quando o soube. Em 1708 começa a polémica com Leibnitz, por causa da prioridade da descoberta do cálculo das Fluxões, que este lhe disputava; polémica que só veio a acabar com a morte de Leibnitz, em 1716. Em 1711 é divulgada em Londres a *Analysis per Quantitatum series, Fluxiones, ac Differentias: cum Enumeratio Linearum Tertii Ordinis*, cujo manuscrito fôra achado entre os papéis que Collius em 1669 tinha recebido de Barrow. O fim desta publicação era trazer mais uma prova da prioridade de Newton na descoberta do Cálculo Infinitesimal.

Em 1713 sai a segunda edição das *Principia*, ansiosamente aguardada por todo o mundo científico. Em 1714 Newton faz na Câmara dos Comuns, sobre a determinação das longitudes no mar, uma comunicação que marca uma data notável na história da navegação.

Neste mesmo ano morre a Rainha Ana e sucede-lhe seu filho Jorge I. A entrada de Newton na côrte não diminui com o novo reinado. Antes pelo contrário, porque a princesa de Gales, que era eruditíssima, sentia um grande encanto espiritual na palavra de Newton. Muitas vezes dizia dêste homem extraordinário o que Felipe dissera de Aristóteles: que se dava por feliz por ser sua contemporânea e ter a dita de o poder ouvir. Numa das suas habituais conversas, Newton expõe à illustre princeza os seus estudos sobre cronologia e mostra-lhe como a interpretação de antigos textos, feita à luz dos princípios astronómicos, o tinha levado a uma cronologia nova.

Muito instado, Newton entrega à augusta Princesa um resumo do seu sistema, com o pedido de o não transmitir a ninguém. A Princesa promete e cumpre. Mas alguém o copiou a ocultas dela e mandou a cópia para Paris. O sistema cronológico é lá publicado, acompanhado duma crítica assás viva.

(1) Op., t. I, *De Vita*.

De novo se via Newton envolvido noutra polémica, o que era, para êle, o pior dos suplicios. Escusado será dizer, que as modernas explorações feitas no Egito e em Babilónia vieram confirmar plenamente os pontos de vista de Newton (1). A Cronologia e a Teologia (2) foram os estudos predilectos dos últimos anos da sua vida.

* * *

Gozou de boa saúde até aos 80 anos. A partir dessa idade começou a sentir com mais pêsos os achaques da velhice.

Contudo, à força de cuidados e regime, conseguiu ter grandes períodos de relativa tranqüilidade durante os cinco anos que ainda viveu. Nunca teve dores, senão nos últimos vinte dias da sua vida e por vezes dores tão violentas que o rosto se lhe alagava de suor. Mas ninguém lhe ouvia um queixume e, uma vez passada a crise, logo sorria, como costumava, e mostrava cara alegre, diz um seu biógrafo (3). No sábado, 18 de Março de 1727, Newton perdia o conhecimento; na segunda-feira seguinte morria.

* * *

O cadáver foi depositado em rica eça na Catedral de Westminster, para onde vão os magnates e por vezes os reis. No dia do entêrro, o serviço religioso foi prestado pelo Bispo de Rochester, seguido de todo o clero da sua Igreja. Às borlas do caixão pegaram o Grande Chanceler de Inglaterra, os Duques de Montrose e de Roxbury, os Condes de Penbrock, de Sussex e de Maclesfield. Foi sepultado à entrada do côro e a piedade da família mandou erigir-lhe um túmulo, onde se acha insculpido este epitáfio: «Aqui jaz Isaac Newton, cavaleiro aurato, que, com vigor intelectual quási divino, primeiro demonstrou, com matemática por êle criada, os movimentos e figuras dos planetas, as órbitas dos cometas e os movimentos das marés; descobriu as dissemelhanças dos raios da luz, e as propriedades das

(1) R. T. Glazebrook, em *Bibliotheca Chemico-Mathematica*, 1921.

(2) *Opusculos*, t. III.

(3) *Op. De Vita*.

côres resultantes, propriedades de que ninguém antes dêle suspeitara; intérprete diligente, sagaz e fiel da natureza, da antigüidade e das Sagradas Escrituras; com a filosofia desvendou a majestade de Deus O. M.; nos costumes mostrou a simplicidade do Evangelho. Congratulem-se os mortais por ter existido um tão grande ornamento do género humano.»

O illustre poeta Alexandre Pope compôs em sua honra este epitáfio, mais simples, mais breve e porventura mais sentido:

« Isaac Newton,

« cuja imortalidade proclamam, os astros, a natureza e o tempo.
Este mármore, porém, diz que morreu! »

Disse.

DR. PACHECO DE AMORIM.

Newton e o ideal da ciência moderna

Como nos dias longínquos da Universidade pombalina, quando a filosofia natural, expressão consagrada pelo génio que hoje comemoramos, era o escopo supremo das demandas da razão e se não haviam dilatado ainda os abismos de especialização, que actualmente nos separam, vêdes hoje associado a uma festa da Faculdade de Ciências um professor da Faculdade de Letras.

O desgaste do tempo e os admiráveis progressos científicos do século passado desarticularam definitivamente o velho e venerando regimento legal; mas por pessoal acôrdo nós o enlaçamos hoje de novo, sem dúvida de uma forma frágil pela minha debilidade, embora ame visioná-lo tenazmente duradoiro, porque nos vincula o anelo do saber e do amor comum às disciplinas desinteressadas e gloriosamente inúteis, que são o timbre das nossas Faculdades.

É este anelo e é este amor comum que nos justificam, Senhores Professores da Faculdade de Ciências, porque qualquer que seja a vossa atitude perante o problema das relações da ciência com a filosofia, quer opteis pelo racionalismo clássico de Descartes e Leibniz, isto é, pela metafísica como fundamento da ciência, quer pela concepção positiva da filosofia como generalização da ciência, quer, com Kant, pela crítica epistemológica dos fundamentos do saber, sempre nos encontraremos num terreno comum, ou seja a admissibilidade de uma teoria da ciência.

É neste terreno, Senhores, que tentarei penetrar com passos tímidos e entorpecidos, do que vos peço desculpa, historiando e reflectindo convosco durante alguns minutos.

Em 1927, quando se iniciou pelos dois Continentes a comemoração que hoje celebrais, disse Einstein no escrito sobre *A mecânica de Newton e sua influência na Física teórica* que se

impunham «a recordação e meditação dêsse espírito luminoso, que como nenhum outro, antes e depois, marcou novas vias ao pensamento, à investigação e à prática técnica do Ocidente», e a quem «o destino colocou numa viragem da evolução espiritual». Se me permitis, será a reflexão breve sobre a natureza desta viragem, assinalada pelo engenho de quem nos nossos dias não sei se corrigiu, se deixou intacta a construção newtoniana, porque é a vós que cumpre o julgamento, que constituirá o tema da minha colaboração à vossa festa. É, pois, numa mutação do espírito que me situo e para fixar o alcance desta mutação devo delinear com traços rapidíssimos o transe do ideal da ciência no último quartel do século XVI. *Que sais-je?*, perguntava por então Montaigne, e nesta pergunta ressoa o fragor das ruínas das concepções científicas medievais e uma espécie de alacridade receosa e surpresa pelas admiráveis revelações da antiguidade, pelas inauditas inovações nas ciências da natureza e pelas estupendas descobertas geográficas, a nossa suprema mensagem colectiva ao património da humanidade. A um tempo, o século das grandes revoltas dilatara o conhecimento empírico da terra e do homem, mas estes conhecimentos, longe de apaziguarem a mente, transmutaram-se numa problemática inquietante e incitadora, quando o nosso planeta foi apeado da dignidade que a crença e a percepção visual lhe atribuíram para se degradar num satélite e se perdeu a robusta e senhoril confiança com que o homem medieval penetrava no mundo. A pergunta de Montaigne, que na essência denuncia a probabilidade de tôdas as opiniões, reduzindo o valor da ciência ao valor do homem que a utiliza, teve no português Francisco Sanches uma resposta resoluta, e essa resposta é de um cepticismo singular. No seu livro, cujo título — *Quod nihil scitur* — é um manifesto, Sanches negava a possibilidade de uma ciência perfeita e completa, por várias razões, das quais destacarei apenas aquela que nos vai abrir a via da modernidade científica. Dizia o arguto filósofo que se se concebesssem as coisas logicamente conexas entre si, isto é, formando uma hierarquia de géneros e espécies, o conhecimento de uma implicaria o conhecimento total, o que se lhe afigurava inacessível. Como haveis reconhecido, Sanches vulnerava directamente o ideal aristotélico-escolástico da ciência, o qual, transportando a mente para o universal abstracto, em vez de prescrever ao sábio que obser-

vasse, experimentasse e medisse, lhe aconselhava que definisse e classificasse por géneros e espécies tóda a realidade. Qualquer que fôsse a incidência e a forma da actividade científica, chamasse-se definição, divisão, classificação, juízo ou raciocínio, sempre esta actividade se resolvia no inquérito da compreensão ou extensão dos conceitos, considerados como objecto da ciência.

Foi êste ideal de ciência, contemplativo e inerte, o qual encontrou na lógica de Aristóteles um instrumento admirável de análise, que Sanches criticou. Em rigor, penso que se lhe não pode chamar um céptico, pois a sua formação naturalista, de médico da Renascença, advertira-o de que «a experiência do contacto com as coisas» abria o caminho dos conhecimentos parcialmente exactos. Se acaso pensou numa teoria da experiência, como tudo faz supor, o certo é que nada nos legou de positivo, e se invoco êste facto, assim como os aludidos, à maneira de introdução, é para vos atrair, Senhores, para aquele incomparável instante em que o europeu culto do final do século xvi sentiu e pensou a necessidade vital de um novo ideal da ciência, de uma nova metódica, de uma nova problemática e de uma nova equação da mente com a realidade. Como no tempo de Sócrates, mas numa tensão de espírito diversamente orientada, a razão uma vez mais ultrapassou aquele estilo de pensamento que conduzira à fragilidade de tódas as concepções, e a via que lhe permitiu superar a crise, todos o sabeis, foi o método. O método, ou por outras palavras, a restauração da confiança na marcha da razão, tomou então o semblante de um afan vital, tão imperativo que o homem procurou não só saber, mas estar certo de que não errava. Por isso, Senhores, no século xvii, durante o qual os sábios foram por vezes filósofos e os filósofos sempre grandes sábios, perante a ruína do saber tradicional e do quebranto da direcção de espírito que ele impunha, sábios e filósofos se lançam na magna emprêsa de desvendar o mundo, que se vovera tão problemático e virginal como nos dias longínquos em que o Heleno pela primeira vez pôs em crise a representação ingénua do homem confiante nos sentidos.

Numa comparação famosa, disse Newton que se encontrara como a criança que brinca com conchas à beira-mar —, quere dizer, diante de si a vastidão indefinida e ignota e nas suas mãos o recurso inútil de uns brinquedos. Como abordar essa vastidão e operar a ofensiva contra o ignorado e o duvidoso? A eterna

pregunta, não formulada apenas por Newton porque é congénita à actividade científica pura, de todos os tempos e lugares, teve no século XVII, que é o século do Génio na qualificação de Whitehead, uma resposta em cuja estrutura se nos depara um novo ideal da ciência.

E com efeito, Senhores, há uma oposição polar entre o ideal aristotélico-escolástico da ciência e o ideal da ciência no século XVII. A eliminação do diverso e a redução à identidade foram e serão o alvo da explicação científica; simplesmente o alvo pode ser variamente colocado e é na singularidade da sua posição no século XVII que reside a oposição entre os dois ideais científicos. Só o universal é objecto da ciência, disseram, após Sócrates, Aristóteles. A ciência moderna não repudiou este objecto; porém transmutou-o profundamente, substituindo a determinação de tipos ou essências genéricas pela relação constante que os fenómenos mantêm entre si.

Num e noutro ideal a mente apeteceu as verdades eternas e como que ignorou os objectos concretos; porém sob esta aparente identidade esconde-se aquela oposição a que aludi. No ideal aristotélico-escolástico o esforço da razão consistia em dominar o diverso e o múltiplo da experiência sensível pelo recurso às ideias de substância e causa, enquanto que no ideal setecentista, essencialmente mecânico-racional, procura-se a explicação na lei, isto é, na razão segundo a qual os fenómenos coexistem ou se sucedem. Tão radical oposição, Senhores, ditou imperativamente comportamentos diferentes perante a realidade. E de facto, no ideal aristotélico a física converteu-se na especulação abstrata sobre a essência dos corpos, isto é numa ontologia de essências às quais, por via silogística, se reportava a realidade; pelo contrário, no ideal moderno o físico procura a lei, isto é, a relação constante através das variações, e esta relação, embora seja uma relação lógica expressa em termos matemáticos, supõe o exame prévio e insistente da realidade concreta. Por isso, entre os dois ideais científicos há um abismo quanto à forma da prova. Para o sequaz de Aristóteles, quando se não inclinava submissamente à autoridade, a prova consistia em reportar uma proposição a outra proposição ou uma coisa à sua espécie e respectivo género; para o sábio moderno, em permanente tensão crítica, a prova consiste não só em referir com evidência uma proposição a outra, mas também em conduzir uma proposição, mediante o con-

fronto da experiência, às suas mais remotas conseqüências. A observação e a experimentação tornaram-se, assim, essenciais à actividade científica moderna, tão essenciais que uma generalização só conquista carácter científico quando compreende todos os factos que a implicam ou sobre que assenta, ou pode ser reportada com evidência a um princípio mais geral já demonstrado. Não nos oferece, porventura, a história da ciência exemplos, nos quais a razão partindo da observação de factos particulares atinge indutivamente uma lei geral e por dedução desta lei descobre a existência de outros factos particulares até então inapercebidos? Não nos indicam estes exemplos, os quais exprimem por assim dizer o ideal da actividade científica, que, ao invés do sábio antigo, para quem a conclusão era verdadeira quando extraída de premissas estabelecidas como verdadeiras e com o rigor silogístico se contentava, para o sábio moderno a verificação da conclusão pelo confronto com os factos é tão imperativa como a das premissas?

A modernidade ofereceu-nos, pois, não só uma concepção nova da dedução, cujo grande artífice foi Descartes, e a constituição do método experimental, cujo grande teórico e realizador foi Galileu, mas também um ideal do conhecimento científico da natureza, residindo no número e na medida, porque só a matemática permite, através do confronto com a experiência, precisar e decidir das observações e das construções intellectuais. A Galileu deve a humanidade o trânsito decisivo para a via científica, ao operar a revolução imensa de trocar a reflexão do *porquê* pelo *como* do movimento, e os pressupostos da física aristotélica pelos conceitos matemáticos de tempo e espaço. Do seu génio data a ciência nova, assim como dos postulados do novo rumo científico o advento de alguns dos mais profundos problemas filosóficos, e permiti que como ilustração do que venho dizendo vos recorde a página famosa do prefácio da segunda edição da *Crítica da Razão Pura*, na qual Kant esclarece admiravelmente a instauração do ideal científico moderno: «Quando Galileu, escreve, fêz rodar as suas esferas sobre um plano inclinado com aceleração determinada e escolhida por elle, ou Torricelli lançou ao ar um pêso que sabia ser igual ao de uma dada coluna de água, ou quando, mais tarde, Stahl transformou metais em cal, e cal em metal, eliminando ou acrescentando certos elementos, houve uma nova luz para todos os físicos.

Êles compreenderam que a razão não apercebe senão o que ela própria produz de acôrdo com os seus próprios planos, que ela deve tomar a dianteira nos princípios que determinam os seus juízos segundo leis constantes, e forçar a natureza a responder às suas interrogações, em vez de se deixar conduzir por ela como com uma corda; porque de outro modo, as nossas observações, feitas ao acaso e sem nenhum plano prévio, não poderiam reportar-se a uma lei necessária, que é o que procura e exige a razão. Esta deve apresentar-se à natureza tendo de um lado os seus princípios, os quais apenas podem dar a fenómenos concordantes a autoridade das leis, e do outro a experimentação, tal qual ela a imagina de harmonia com estes mesmos princípios. Ela obriga-a a instruí-la, não como um escolar que tem que ouvir tudo o que agrada ao mestre, mas como um juiz nas suas funções, quando obriga as testemunhas a responder às perguntas que lhes dirige. A física deve, assim, a feliz revolução operada no seu método à simples idea de que ela deve procurar e não imaginar na natureza, em conformidade com as ideas que a própria razão dá, o que dela deve aprender e da qual nada poderia saber por si mesma. Foi assim que a física pôde entrar no caminho seguro da ciência, depois de não ter feito senão vacilar durante tantos séculos».

Sem observação nem experiência não há conhecimento científico da natureza, mas como nos adverte Kant nesta página digna de meditação, a ciência está para além da experiência, porque o seu objectivo é a integração do dado em certas ideas conexas com a experiência ou mesmo independentes dela, como as formas matemáticas.

Eis-nos chegados, Senhores, após tão longo cêrco, ao Homem, cuja mente prodigiosa deu forma sempiterna a êste ideal, autor como vos disseram e dirão os meus sábios colegas, da mais vasta generalização científica, criador de um método original de análise, e humilde e obediente espectador da experiência, *la vera maestra*, na frase de Galileu. Newton não foi apenas o experimentador ideal; foi também um teórico do método, porém num sentido diverso de Descartes e de Bacon. Como observou Léon Bloch, «não acreditava no poder mágico de um método, qualquer que êle fôsse. O que pode tornar fecunda a ciência não é a stricta conformidade do raciocínio a preceitos universais, é a iniciativa e a intelligência do sábio. Se bastasse aplicar

formalmente as mesmas regras, supostas exactas, a tôdas as espécies de objectos, para construir uma física coerente, cairíamos na idea de que a ciência é sempre identica a si própria e que o mesmo instrumento bastaria para tudo. Segundo Newton, isto não é possível. A cada momento da sua evolução, a ciência é necessariamente fragmentária, e cada uma das partes que a compõem tende a desenvolver-se num sentido especial. É por isto que os métodos particulares têm na realidade mais importância, que um sistema de preceitos gerais. O método experimental, como o método matemático, não pode ser uniforme, diferenciando-se segundo os objectos e as ordens de problemas, que considerar. Se existem regras, que devam seguir-se sempre no estudo da física, estas regras não podem ter por fim a aplicação directa a cada caso. Necessariamente abstractas e desprovidas de conteúdo, não podem servir de instrumentos de investigação. A sua utilidade consiste sobretudo em inculcar hábitos de espírito». Este lúcido comentário do sábio autor da *La philosophie de Newton*, mostra-nos que a concisa metódica newtoniana, embora de alcance geral, quero dizer, aplicável tanto à ciência deductiva como indutiva, tende essencialmente, ao contrário do método cartesiano, à elaboração de métodos especiais. Claro que me dispensais de insistir sobre as quatro regras newtonianas, ou sejam o postulado da simplicidade da natureza, a atribuição, tanto quanto possível às mesmas causas, dos efeitos naturais do mesmo género, o direito à generalização e o comedimento no estabelecimento de teses, porque não é na lógica, mas no ideal, na prática e nos resultados científicos que se edifica a glória de Newton. Ele prosseguiu e radicou o ideal da ciência moderna, ahistórico e geométrico, o qual, depois da constituição da história natural e das ciências biológicas, não coincide rigorosamente com o ideal contemporâneo, que tudo concebe evolutivamente e sob a categoria da relação. Ele estabeleceu definitivamente, após Kepler e Galileu, a unidade das leis dos mundos terrestre e celeste, mediante as quais o universo alcançou a simplicidade e harmonia de um Cosmos; e fundamentou cientificamente a concepção mecânica da natureza, considerada como um sistema de objectos físicos em movimento, explicável por um mínimo de relações entre elementos reais e homogêneos. E na verdade, Senhores, em momento algum da sua actividade científica ele careceu de recorrer a premissas metafísicas, de tal

ordem que o juízo famoso de D'Alembert no *Discurso* preliminar da *Enciclopédia*, não sofre a mancha do anacronismo: «*Newton, à qui la route avait été préparée par Huyghens, parut enfin, et donna à la Philosophie une forme qu'elle semble devoir conserver. Ce grand génie vit qu'il était temps de bannir de la Physique les conjectures et les hypothèses vagues, ou du moins de ne les donner que pour ce qu'elles valaient, et que cette science devait être uniquement soumise aux expériences et à la Géométrie*».

Ao contrário de Descartes, Newton não foi metafísico antes de ser sábio; ¿sê-lo-ia depois? Em rigor, no sentido que a metafísica tinha no seu tempo, não o foi; mas como ninguém mais do que êle, no século da constituição da ciência natural, legou uma mensagem de íntegra confiança no método científico e no valor do espírito humano, que atingira generalizações já mais conhecidas.

Êle não investigou os fundamentos críticos do saber. Legou o próprio saber, tão precisa e rigorosamente, unindo o facto ao necessário, a ciência à realidade, que foi o seu legado, assim como a moral pietista, que incitou a mente prodigiosa de Kant a meditar êsses dois monumentos tão eternos como os *Principia mathematica*: a *Crítica da Razão Pura*, e a *Crítica da Razão Prática*. Se Newton não coroou a sua obra com uma metafísica de grande estilo, deu-lhe no entanto o remate eloquente e comovido da religião, senão da teologia. Por um desvio, que não posso percorrer, é em grande parte na sua teologia de causas finais, que radica o conceito de religião natural, banalizado com impertinência no século XVIII; e disse desvio, Senhores, porque nada se distanciou mais dos seus sentimentos piedosos do que aquele conceito que fazia da caricatura da fé o debuxo grave da razão. Newton não desdivinizou o mundo; pelo contrário, entre a sua concepção da estrutura do Cosmos, do espaço absoluto e de Deus há uma relação íntima, tão íntima que, substancializando o espaço, o que Leibniz penetrantemente criticou, dêle fêz o sensório de Deus. É que o Deus de Newton não é o Senhor Deus dos Exércitos; é o Deus providencial e supremamente bom das almas afectivas e, sobretudo, o Deus arquitecto, *pantocrator*, ao qual o espírito se eleva quando contempla a estabilidade, a uniformidade e a ordenação admirável do Cosmos. «Nós admiramos Deus, disse, como súbditos, porque um Deus

sem providência, sem império e sem causas finais, é apenas o destino e a natureza»; e Roger Cotes, amigo e intérprete do sábio crente, terminou o seu famoso prefácio à segunda edição dos *Principia*, asseverando «que a obra exímia de Newton é a mais inexpugnável fortaleza contra os ataques dos ateus; e tu, leitor, não serás nunca tão feliz senão quando conseguires tirar desta aljava uma seta contra a caterva dos ímpios». Kant, volvido quási um século, não será precisamente desta opinião; mas se a sua teologia, ou se preferis, a sua metafísica, é de ordem sentimental, a sua atitude de sábio e a sua obra científica nunca serão assaz louvadas. ¿Definitivamente e com desafio do porvir? Qualquer que seja o seu destino, repetindo a sentença apoteótica de que «os ceus entoam ainda a glória de Newton», eu creio que quedará como um momento eternamente único e fecundo na história da humanidade aquele em que o génio de Newton adaptou as coisas ao nível da razão e deu ao ser desamparado, que é o homem, uma explicação harmoniosa da ordem racional dos factos.

JOAQUIM DE CARVALHO.

Professor da Faculdade de Letras de Coimbra.

Newton, experimentador

Há um aspecto da obra de Newton que muitas vezes não é apresentado com o relêvo que merece.

Para muitos, Newton é apenas o pensador profundo, o matemático insigne que escreveu os *Principia mathematica* e que marcou com êles um lugar de destaque na História da Filosofia natural.

Para outros — e nesses me incluo — Newton é também o Físico ilustre que escreveu o famoso *Tratado de Ótica sôbre as Reflexões, Refracções, Inflexões e Côres da Luz*.

É nesta obra que Newton se revela um experimentador habilíssimo, um verdadeiro mestre, como diz Montucla, na arte difficilima de interrogar a Natureza. Como obra reveladora de génio, ela não é inferior aos *Principia* e o mesmo, como diz ainda Montucla, pensaria Platão que afirmava *não pertencer ao poder do homem o conhecimento justo da proporção em que se devem combinar diferentes côres para produzir outras, acrescentando*: «e quem o viesse a descobrir não o deveria dizer porque êle não saberia de modo algum dar disso uma razão necessária nem mesmo provável. Mas — acrescenta Platão — se alguém metesse mãos à obra, mostraria que ignora a diferença que há entre a Natureza Divina e a Natureza Humana. Porque Deus — diz ainda Platão — pode misturar várias coisas numa e dividir uma em várias porque êle sabe e pode ao mesmo tempo. *Mas não há nenhum homem hoje e nunca haverá* que possa fazer uma e outra».

Êsse homem porém, minhas senhoras e meus senhores, capaz de fazer a análise e a síntese da luz, existiu e foi precisamente Newton. É no seu *Tratado de Ótica* que Newton mostra ter conseguido o que Platão negava ser possível e fá-lo por uma forma tão profunda e tão completa que muitos autores do sé-

culo XVIII — e, entre elles, o nosso illustre Dr. Jacob de Castro Sarmiento, membro do Real Colégio dos Médicos de Londres, — consideram este *Tratado* uma verdadeira Anatomia da Luz.

É curioso notar a sua tardia publicação. Newton fez publicar o seu *Tratado* apenas em 1704, quando elle tinha já 62 anos de idade. Os seus primeiros estudos sobre as propriedades da luz são porém muito mais antigos, e elle próprio declara no prefácio da sua Obra que já em 1675 a tinha escrito quasi toda. ¿ Porque razão guardou Newton, durante perto de 30 anos na sua gaveta, o manuscrito onde se descreviam centenas de experiências, em que eram revelados resultados novos, explicadas certas propriedades da luz consideradas ainda ao tempo como misteriosas?

Elle próprio o diz também no mesmo prefácio: «Foi para evitar de entrar em liça sobre estas matérias que adiei até hoje a impressão deste livro e tê-la-ia adiado por mais tempo se não tivesse sido a exigência de alguns amigos aos quais não pude resistir».

Newton mostra-se assim pouco amigo de polémicas, não certamente porque as temesse mas sem dúvida porque de antemão sabia a inutilidade das objecções que os seus contraditores poderiam apresentar aos seus resultados sobre os quais tinha, como experimentador consciencioso, a maior confiança.

Minhas senhoras e meus senhores: na impossibilidade de analisar toda a obra de Newton no escasso tempo que me foi reservado nesta sessão de homenagem, limito-me a fazer salientar as passagens mais importantes do seu *Tratado de Ótica*, os resultados novos que aí são indicados, as principais sugestões que lá são dadas e que permitiram à Física moderna formular juízos seguros sobre as propriedades da luz.

Em primeiro lugar, é justo apontar a clareza com que são descritas as centenas de experiências de que Newton se serve para demonstrar os seus teoremas, todas as observações que julgou útil fazer para aclarar os problemas mais obscuros que se lhe deparavam na análise das diferentes propriedades da luz. Há depois disso a assinalar o cuidado que Newton tem em toda a sua Obra para realizar o desejo que exprime logo nas primeiras páginas: *o meu desejo nesta obra — diz Newton — não é explicar por hipoteses as propriedades da luz, mas expô-las claramente para as provar pelo raciocinio e pela experiencia.*

É para realizar este desejo — que é um traço característico de toda a obra de Newton — que elle tem o cuidado de propor, logo de entrada, um certo número de definições e de axiomas. São indispensáveis. É impossível ler com proveito o seu *Traçado*, sem atender previamente e sem meditar todas as definições dos termos que emprega e todos aqueles axiomas que para elle traduzem factos provados pela experiência e sobre os quais, ao tempo, ninguém tinha a menor sombra de dúvida. Por o não terem feito muitos dos mais illustres comentadores de Newton, caíram no ridículo, pode dizer-se, de formular objecções contra as doutrinas newtonianas que não tinham o menor fundamento.

Há sobretudo uma definição que parece ter sido por muitos mal comprehendida ou mesmo ignorada: é a definição 3.^a sobre a *Reflexibilidade* dos raios de luz. Por não terem atendido a ella, julgaram muitos contraditores de Newton, e entre elles Gauthier, em 1712, que Newton tinha caído num erro grave ao enunciar o seu teorema 3.^o do livro 1. Diz este teorema: «*A luz do Sol é composta de raios diferentes em reflexibilidade e os raios que são mais refrangíveis são também os mais reflexíveis*». A diferente refrangibilidade dos raios de luz ou melhor das diferentes côres a que neste teorema se faz referência, constitui o enunciado do 1.^o teorema de que Newton dá quatro demonstrações experimentais irrepreensíveis. Esta diferente refrangibilidade significa, como é bem sabido, que a uma mesma incidência correspondem, para as diferentes côres, ângulos de refração diferentes. Gauthier e os outros contraditores pensaram que o mesmo queria afirmar Newton no seu teorema 3.^o referindo-se à diferente reflexibilidade, e diziam: *o teorema é falso visto que um raio azul reflete-se fazendo um ângulo de reflexão igual ao da incidência e o mesmo acontece com um raio vermelho*. É evidente que Newton não podia ter caído num erro que, ao tempo, seria considerado como grosseiro visto que a lei da reflexão era desde há muito conhecida (encontra-se já enunciada na *Catóptrica* de Euclides). Na realidade, Newton não cometeu erro nenhum.

Gauthier e os outros contraditores é que não atenderam à definição de reflexibilidade dada com todo o cuidado por Newton. Vejamos o que Newton começa por dizer na sua definição 3.^a: *a reflexibilidade dos raios é a disposição que lhes permite a sua reflexão sobre a superficie do meio na qual elles incidem para*

o meio de que elles partem; e os raios são mais ou menos reflexíveis conforme elles são reenviados com maior ou menor facilidade.

Até aqui, a definição de reflexibilidade não aparece muito clara e tal como ficou enunciada pode dar facilmente logar a ideias erradas. Talvez por isso se explique que o nosso ilustre Dr. Jacob de Castro Sarmiento, newtoniano fiel, tenha também, por seu lado, mal compreendido a definição de reflexibilidade. Encontra-se, com efeito, no livro do Dr. Castro Sarmiento intitulado: *Teórica verdadeira das marés conforme a filosofia do incomparável cavaleiro Isaac Newton*, publicado em Londres em 1737, edição portuguesa, a seguinte definição de reflexibilidade que transcrevemos na íntegra: «*é a disposição dos raios de luz para tornar para trás mais ou menos facilmente para o mesmo meio de outro qualquer outro em cuja superficie hajam caído*».

Sublinhei as palavras que o Dr. Castro Sarmiento introduz na sua definição e que se não encontram, como vimos, na definição de Newton. Com elas, o Dr. Castro Sarmiento mostra que não compreendeu a definição de Newton e que, sobretudo, não atendeu, como Gauthier, ao seguinte complemento explicativo que Newton acrescenta com todo o cuidado à sua definição: «*assim — diz Newton — quando a luz passa do vidro para o ar se a fizermos incidir com uma inclinação cada vez maior sobre a superficie comum do vidro e do ar, ela começará por fim a ser inteiramente reflectida por esta superficie; aqueles dos raios de luz que, para incidências iguais, são reflectidos em maior quantidade ou que, aumentando a inclinação, começam a ser totalmente reflectidos, são os mais reflexíveis*».

Neste complemento explicativo, Newton é perfeitamente claro; é este complemento que parece não ter sido lido ou compreendido pelos expositores e contraditores de Newton. A reflexibilidade de Newton refere-se apenas ao fenómeno hoje bem conhecido da reflexão total. O que elle quer dizer no seu teorema 3.^o é que aos raios de luz de diferente refrangibilidade correspondem, para os mesmos meios, ângulos limites diferentes. Assim compreendido o teorema, elle é inteiramente justo.

Mas não foi só o teorema 3.^o que a princípio, assim foi tão mal compreendido. Os dois primeiros em que Newton afirma a separação das côres pelo prisma e a sua diferente refrangibi-

lidade, sofreram a mesma sorte. Nós hoje estamos tão habituados, desde que passámos pelos bancos das escolas, a pensar que a luz branca do sol é constituída pela sobreposição de radiações diferentemente coradas, isto foi-nos tantas vezes repetido e exemplificado pelos nossos primeiros mestres, que chegamos a não compreender a razão porque se levantaram tantas objecções às experiências irrepreensíveis de Newton. E contudo nós encontramos Físicos ilustres que pretenderam pôr em dúvida os resultados de Newton, que chegaram mesmo a chamar *hipóteses* a afirmações seguríssimas, que eram exclusivamente a tradução fiel, desapaixonada, de resultados experimentais.

Encontramos entre eles o célebre Mariotte que chegou a considerar como *hipotese engenhosa que teria de ser regeitada* a conclusão de Newton relativa à inalterabilidade das côres separadas pelo prisma e que ele tão bem exprimiu na frase hoje célebre: *nec variat lux fracta colorem*.

Mariotte chegou mesmo a dizer que, tendo repetido as experiências de Newton, verificou sempre que as côres separadas por um primeiro prisma se decompunham noutras pela passagem por um segundo prisma e que, portanto, as côres provinham de modificações impressas aos diferentes raios de luz pelas substâncias que constituíam os prismas.

Analisemos outros teoremas de Newton. Entre os mais célebres que Newton indica no primeiro livro do seu *Tratado*, figura o teorema 6.º, que diz: «*o que impede que os telescópios sejam perfeitos é a diferente refrangibilidade dos raios de luz. A importância dêste teorema é bem apontada por Newton; diz êle: «atribue-se vulgarmente a imperfeição dos telescópios à esfericidade dos vidros. É por isso que os matemáticos têm proposto trabalhar os vidros em forma de secções cônicas. Para mostrar que êles se enganam, inseri aqui êste teorema cuja verdade aparecerá pelas medidas das refrações das diferentes espécies de raios que eu fiz».*

Com efeito, Newton, depois de mostrar a existência daquilo a que nós damos hoje o nome de aberração cromática, prova, com os resultados das suas medidas, que esta é, nos telescópios, muito mais importante do que a aberração de esfericidade. Êste resultado teve, para Newton, duas conseqüências a que não é possível deixar de fazer referência; a primeira, conseqüência

importante, foi a construção do célebre telescópio de reflexão ou telescópio catadióptrico que pertence ao número dos aparelhos inventados por Newton; a segunda, consequência pouco agradável, foi o enunciado duma proposição que constitui, pode dizer-se, o único erro grave em que caiu Newton: a afirmação da impossibilidade de constituir sistemas acromáticos. Uma e outra, estão nitidamente expressas a pág. 116 do seu *Tratado*; diz Newton: «*vendo que aperfeiçoar os telescópios de um dado comprimento, pelas refrações, é um assunto sem solução, imaginei um telescópio que faz ver os objectos por reflexão*».

Outros teoremas importantes — que Newton demonstra sempre pela experiência — se contêm ainda no livro primeiro sobre os quais, porém, somos forçados, por falta de tempo, a passar em silêncio.

Passemos ao livro segundo ao qual vamos fazer apenas uma análise muito rápida.

É neste livro que Newton se ocupa das côres exibidas pelas lâminas delgadas; é aí que Newton estuda a formação dos anéis corados a que nós damos hoje o seu nome. É justo porém dizer que estes anéis tinham sido anteriormente descritos com todo o pormenor por Hooke, fisico inglês, mas nos escritos de Hooke não há referência a determinações quantitativas. Estas foram todas feitas por Newton que, a partir delas, pôde enunciar as chamadas leis dos anéis corados.

São estas determinações e estas leis que Newton descreve no livro segundo.

Porque motivo se ocupou Newton destes fenómenos das lâminas delgadas? Éle o diz na 3.^a parte deste 2.^o livro: «*eis-me aqui chegado a uma outra parte do desejo desta Obra, o de examinar que relação há entre os fenómenos das lâminas delgadas transparentes e os de todos os outros corpos naturais*». É deste exame que Newton pretende deduzir a explicação das côres próprias dos corpos. Segundo éle «os raios que incidem sobre a superfície dum corpo penetram sempre no interior do corpo até a uma certa profundidade; a primeira camada de moléculas deve então actuar sobre a luz exactamente como uma lâmina delgada transparente». Nesta explicação, é Newton infeliz.

«Newton não reparou que as côres exibidas pelas lâminas

delgadas não apresentam tôdas as nuances que nos oferecem os corpos naturais» (Verdet). Brewster mostrou mais tarde em 1837 que, mesmo no caso de se reconhecer que a côr dum corpo parece igual à dum certo anel, a análise espectral das duas côres mostra todavia que são diferentes. Ponhamos portanto de lado esta aplicação infeliz das propriedades das lâminas delgadas e ocupemo-nos antes da explicação que Newton dá dos próprios anéis côrados que nelas se formam. Focamos aqui um ponto extremamente curioso e importante das ideias newtonianas sobre as propriedades da luz. Até aqui ainda não fizemos referência à maneira como Newton explicou os fenómenos luminosos. Devemos fazê-lo agora.

Newton é geralmente considerado o autor da célebre teoria da emissão, segundo a qual a luz é constituída por pequenos corpúsculos projectados pelos corpos luminosos. É justo porém dizer que esta ideia é muito mais antiga; ela encontra-se expressa mais ou menos vagamente no livro 4 — Natureza das coisas — de Lucrécio. Newton porém desenvolveu-a. Foi com ela que Newton explicou, em primeiro logar, a reflexão e a refração da luz. Foi ainda com ela que êle tentou explicar os fenómenos de difração, descobertos por Grimaldi em 1665 e de que êle próprio se ocupa, descrevendo algumas experiências, no livro 3.º e último do seu *Tratado*. Para explicar êstes três fenómenos luminosos, Newton supõe que os corpúsculos luminosos são atraídos ou mesmo repelidos pelos corpos materiais. De passagem, noto neste logar, um êrro que se encontra em muitos livros: a afirmação de que a reflexão da luz é duma explicação extremamente simples na teoria da emissão; ela é apresentada nesses livros como o simples resultado do choque elástico das partículas luminosas contra as superfícies reflectoras. Os que o afirmam, julgando traduzir o pensamento de Newton, não leram com certeza a oitava proposição do livro segundo e sobretudo o que êle diz a seguir e que reproduzo aqui: «*Se a reflexão dos raios de luz fôsse produzida pelo seu choque contra as partes sólidas dos corpos, estes raios não seriam reflectidos pelos corpos polidos duma maneira tão regular como eles são*».

¿Pôsto isto, como explicou Newton com a sua teoria da emissão, os fenómenos das lâminas delgadas, a formação regular dos anéis côrados?

É impossível que, chegado a este momento da minha exposição, eu não faça aqui pública declaração do meu pasmo perante um facto singular. Conhecem com efeito V. Ex.^{as} o extraordinário successo obtido nos últimos anos pela nova ciência conhecida sob o nome de Mecânica ondulatória, e sabem que ela realizou em 1924, seguindo as ideias de Louis de Broglie, a síntese das duas teorias rivais da luz: a teoria da emissão e a teoria das ondas, a primeira, como vimos, aplicada desde Newton na explicação dos mais simples fenómenos luminosos e a segunda, concebida por Huygens, contemporâneo de Newton, e mais tarde desenvolvida pelos trabalhos de Young e Fresnel, utilizada exclusivamente, ainda há bem pouco tempo, na interpretação de todos os fenómenos luminosos conhecidos. Sabem porém V. Ex.^{as} que, descobertas recentes, vieram mostrar a insuficiência desta última teoria, provocando o aparecimento da Mecânica ondulatória. A luz passou a ser considerada, no quadro desta Mecânica, como uma entidade física que apresenta uma dupla estrutura corpuscular e ondulatória, reconhecendo-se a impossibilidade de explicar todos os fenómenos luminosos por uma teoria exclusivamente ondulatória ou exclusivamente corpuscular.

Ora o que eu estranho, Minhas senhoras e meus senhores, e justamente, é que esta ideia — base da Mecânica ondulatória — da associação dos corpúsculos luminosos e das ondas, não seja atribuída a Newton. Pertence-lhe, com efeito; admite-a claramente quando pretende dar uma razão da sua teoria dos acessos de fácil reflexão e de fácil transmissão que enuncia na duodécima proposição do livro segundo, parte terceira, teoria de que Newton se serve para explicar justamente os fenómenos das lâminas delgadas, a formação regular dos anéis côrados. É a propósito da explicação destes anéis que elle é obrigado a enxertar na sua teoria da emissão, noções que pertencem de facto à teoria ondulatória. Newton viu bem que não é possível explicar a formação regular dos anéis, assim como outros fenómenos idênticos de interferência, dentro do quadro apertado duma teoria exclusivamente corpuscular. E assim, ao lado de corpúsculos animados duma certa velocidade, elle admite também a existência de ondas com uma velocidade de propagação que pode ser diferente daquela. Elle consegue desta maneira justificar a sua teoria dos acessos e explicar em seguida os fenómenos exibidos pelas lâminas delgadas transparentes. Porque não considerar

então Newton um verdadeiro precursor das novas doutrinas que dominam a Física moderna? Habitue-mo-nos daqui em diante a prestar-lhe homenagem por mais esta prova do seu extraordinário poder de intuição.

MÁRIO A. DA SILVA.

Professor catedrático da Faculdade de Ciências.

O princípio da gravitação universal

E usual em circunstâncias análogas àquelas em que nos encontramos encarecer o acontecimento que ocorre classificando-o de superior a todos quantos até então tenham sucedido nas mesmas condições. Contudo, se alguma vez com justificada razão esta afirmação poderá ter tido cabimento, de-certo nunca o foi mais do que neste momento, em que na Sala nobre da Universidade de Coimbra se realiza a solenidade com que esta instituição científica comemora a memória de Isaac Newton, figura culminante da ciência.

Sem dúvida eu tenho assistido nesta mesma Sala a solenidades, por muitos motivos, notáveis, e que perduram indelêvelmente na nossa memória. Assegura-nos a tradição que nela têm sido realizadas cerimónias grandiosas, por vezes realçadas pela presença de reis e chefes de Estado. E a-pesar-destas observações eu não duvido assegurar quanto aquela a que assistimos agora se impõe com superior importância.

Diversas circunstâncias concorrem para que assim suceda.

Trata-se da glorificação da mais alta individualidade científica de que a humanidade pode justificadamente orgulhar-se, porquanto o seu génio pôde subir às mais elevadas regiões da ciência, e incrustar aí a verdade que rege o Universo físico. Sem dúvida a sua grandeza é tal que abrange tóda a humanidade; contudo deve observar-se que a centelha com que nos deslumbra teve a sua origem na nobre Nação Britânica, e Portugal lembra constantemente quanto são íntimos, leais e dedicados os laços de amizade que unem os dois povos, inglês e português.

Partiu a iniciativa da Faculdade de Ciências da nossa Universidade, como era natural. Mas todos os elementos que constituem este organismo científico imediatamente concorreram com

tôda a sua acção a fim de que esta comemoração adquirisse o maior brilho e fôsse uma demonstração da sua actividade científica. O nosso sábio Reitor, Professores e Alunos apreciaram devidamente o alto significado desta manifestação. É também grato registar a valiosa cooperação de todos os elementos notáveis desta cidade, caracteristicamente intelectual e universitária, os quais estão demonstrando o muito que apreciam a nossa acção e querem fortalecê-la.

A todos tributa a Faculdade de Ciências a sua gratidão, e eu permitir-me-hei também exteriorizar a satisfação que sinto ao lembrar como os meus ilustres colegas, que me antecederam no uso da palavra, prestigiaram a nossa Universidade.

E, ainda, para que esta solenidade adquirisse excepcional importância, vieram dar-lhe o prestígio da sua distinta colaboração duas personalidades da mais elevada situação: — Sir Claud Russel, ilustre Embaixador em Portugal de Sua Majestade Britânica, distinto ornamento da diplomacia inglesa, representante de uma nobre família de homens de Estado, que têm brilhado nas mais altas posições; e o sábio Director do Observatório de Greenwich, Sir Frank Dyson, que ocupa a mais alta posição no mundo astronómico, aclamado, em 1928, Presidente da *União Internacional Astronómica*, no Congresso de Leyde. Sir Claud Russel, possuidor de vastos conhecimentos científicos, digna-se presidir a esta sessão, que antecede a cerimónia, que vai ter lugar, da inauguração da Sala Newton no nosso Observatório Astronómico, ao qual logo deu fama mundial o seu fundador Monteiro da Rocha, e agora ficará ennobrecido pelo superior prestígio do seu patrono.

Sir Frank Dyson acaba de honrar a nossa Universidade com uma conferência admirável, a qual será guardada como jóia preciosa nos Anais da Faculdade de Ciências.

Constitui uma bela síntese da obra genial de Newton, preparada por quem, educado no ambiente em que brilhou aquele sábio mestre, ali adquiriu profundos conhecimentos que o tornaram um notável cultor da ciência astronómica.

É complexa e de alto valor científico a obra já realizada por Sir Dyson. Lamento que o pouco tempo de que disponho não me permita fazer-lhe uma larga referência. Lembrarei, para que possa ser consultado, o relatório que sobre os trabalhos de Sir Dyson foi publicado em 1925 na Revista *Monthly Notice of the*

Royal Astronomical Society, quando a *Royal Astronomical Society* conferiu ao ilustre sábio a medalha de ouro. Observarei sòmente que são especialmente notáveis os seus trabalhos sòbre, — astronomia meridiana, assunto que constitui uma das maiores riquezas do Observatório de Greenwich; — movimentos próprios das estrélas; — paralaxes; e sòbre investigações astrográficas. E facilmente poderá avaliar-se da sua importância notando que elles valeram a Sir Frank Dyson a mais elevada situação no mundo astronómico da Inglaterra, onde foi chamado a ocupar a alta posição de Primeiro Astrónomo Real e Director do Observatório de Greenwich, e no mundo astronómico internacional a situação de Presidente da *União Astronómica Internacional*.

Também sinto não dispor de tempo para dar ao menos uma sumária noticia do imenso trabalho realizado por aquele Instituto científico, e limitar-me-hei a recordar que, lançada a primeira pedra a 10 de Agosto de 1675, devido aos cuidados de Carlos II, foram antecessores de Sir Frank Dyson até aos fins do século XVIII, Flamsteed, Halley, Bradley e Maskeline. Devem-se-lhes preciosos estudos de Astronomia de posição. De Flamsteed temos o célebre catálogo de estrélas, que serviu de base para a publicação feita por sua filha de um precioso catálogo de cartas celestes que tenho a fortuna de possuir, devido à bondade do meu ilustre amigo Dr. Rodas Shaw. A Halley devem-se os cálculos que fixaram a trajectória do célebre cometa Halley. A Bradley deve-se a descoberta do fenómeno da aberração, e a Maskeline importantes investigações sòbre a gravitação.

E não deve esquecer-se que no século XVIII se tornou a Inglaterra crèdora de admiração e gratidão mundial devido à construção, realizada por Harrisson, de uma máquina (cronómetro) de alta precisão para a medição do tempo no mar. O cronómetro de Harrisson, preciosa jóia que é cuidadosamente guardada no Observatório de Greenwich, libertou a navegação marítima de dolorosas surpresas, que os navegadores portuguezes corajosamente affrontaram em épocas mais remotas.

No século XIX adquiriu o Observatório de Greenwich um considerável desenvolvimento devido ao impulso dos seus directores Airy e Christy, que em companhia de Sir Dyson observou em Portugal o eclipse total do Sol de 1900.

Para se apreciar o colossal trabalho que o Observatório

de Greenwich realiza debaixo da sábia direcção de Sir Dyson, bastará observar que o relatório relativo ao tempo decorrido durante um ano, desde 11 de Maio de 1930 a 10 de Maio de 1931, informa que durante êste período foram feitas 11.175 observações de passagens meridianas.

É também necessário conhecer que, devido à especial consideração que merece Sir Dyson, foi há pouco oferecido ao Observatório de Greenwich, por Mr. William Johnston Yapp, um telescópio munido de um reflector de 36 polegadas, com o valor de 15.000 £.

MEUS SENHORES! — Entre tantas estrêlas brilhantes com que a Inglaterra destaca no firmamento da ciência, um sol fulgurante nos deslumbra com a imensidade do seu penetrante génio, — Isaac Newton, em honra de quem a Universidade de Coimbra hoje celebra esta grandiosa comemoração, para a qual já contribuíram com preciosos estudos, que compreendem os principais aspectos da obra genial de Newton, Sir Frank Dyson, e os meus queridos colegas Drs. Pacheco de Amorim, Joaquim de Carvalho e Mário Silva.

Mas se alguém tiver atentado nos enunciadados dos assuntos versados, poderá ter notado que nos dos meus colegas entra sempre o nome de Newton a caracterizá-los, e que êste nome não se encontra no título do assunto de que me propus ocupar: — *O principio da gravitação universal*. ¿Terá havido esquecimento? Devo confessar que propositadamente omiti o nome de Newton para que não lhe fôsem atribuídas responsabilidades que não lhe cabem, atenta a forma como correntemente é enunciado êste principio, tal que até se tem julgado preciso desculpar Newton!

Para se verificar quanto a exposição didáctica induziu a êste erro basta recordar o enunciado que do principio da gravitação universal dá Tisserand no seu notável tratado de Mecânica Celeste. No vol. I da edição de 1889, escreve Tisserand:

«C'est de cette manière que Newton a été conduit à la loi de la gravitation universelle, à laquelle souvent on donne simplement le nom de loi de Newton: — Deux points matériels quelconques s'attirent mutuellement, proportionnellement à leurs masses et en raison inverse du carré de la distance».

Espalhado êste enunciado, estabeleceu-se a opinião de que

Newton recorria a misteriosas forças a distância; e considerando-se inadmissível que um génio como o de Newton pudesse ser responsável por tal doutrina, tratou-se de afastar esta falta com a explicação de que Newton não teria querido afirmar a existência de tais acções, mas somente indicar que os factos se passavam como se fôsem produzidos por forças dessa natureza. Por exemplo, Max Frank escreve: «Newton diz: — Tudo se passa como se os pontos materiais se atraíssem com uma força dirigida segundo a recta que os une, e de que a intensidade é proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado das suas distâncias».

Ora, succede que Newton, bem conhecido pelos escrúpulos com que sempre acautelou as suas afirmações, e até pela sua exagerada modéstia, que lhe fazia dizer, «que se limitava a recolher algumas pedrinhas na praia imensa da ciência», ele, que rasgou um imenso horisonte de luz nas trevas que envolviam a ciência do seu tempo, nunca concretizou a sua doutrina sobre a gravitação num princípio, e por forma alguma introduziu nas suas expressões qualquer palavra que pudesse fazer supor que, ao menos para simplificar a fórmula, tinha recorrido ao emprêgo da locução atracção.

É este um assunto capital que convém esclarecer completamente.

É no liv. 3.^o dos *Principia* que se encontram enunciatas as proposições que foram encerradas depois no princípio atribuído a Newton.

Eis o que diz a *Prop. III, Teorema VI*:

«Corpora omnia in planetas singulos gravitare, et pondera eorum in eundem quem vis planetam, pariùs distantiiis a centro planetæ, proportionalia esse quantitate materiae in singulis».

Em seguida devem ser considerados o Teorema VII da mesma proposição e os seus dois corolários.

Teorema VII. — «Gravitatem in corpore universi fieri eamque proportionalem esse quantitati materiae in singulis».

Corolário 1.^o — «Oritur igitur et compositur gravitas in planetam totum ex gravitatem in partes singulos».

Corolário 2.^o — «Gravitatis in singulos corporis particulas aequales et reciproci ut quadratum distantiae locorum a particulis».

Para comodidade da apreciação darei também o texto em português.

Livro 3.º, Prop. III, Teorema VI:

«Todos os corpos gravitam para os diversos planetas, e os pesos dêles em relação a cada planeta, e a distâncias iguais do centro dêsse planeta, são proporcionais à quantidade de matéria dos referidos corpos».

Prop. III, Teorema VII.

«A gravidade actua para todos os corpos do universo e é proporcional à quantidade de matéria de cada um dêles».

Corolário 1.º — «A gravidade em todo o planeta, nasce e é resultante da gravidade para cada uma das partes».

Corolário 2.º — «A gravitação (de uma partícula) para cada uma das partículas iguais (em massa) dêsse corpo está na razão inversa do quadrado das distâncias a essas partículas».

Verifica-se que Newton, nem explicita-, nem implicitamente, inclui nos seus enunciados qualquer expressão que implique a a ideia de atracção. Exprime, e muito claramente, as condições em que tem lugar o fenómeno da gravitação.

Nem por isso deixou de haver acesas e até, por vezes, violentas discussões, em que foram atacadas estas doutrinas. Foram-lhe atribuídas opiniões que não tinham sido expostas, mas que, pelo menos, se queria fazer supor que decorriam da doutrina dos princípios da gravitação. Pode apreciar-se a importância que atingiram essas discussões observando que nelas entraram sábios da categoria de Huygens e Leibnitz, e que dominava então a hipótese dos turbilhões de Descartes, combatida por Newton.

A doutrina newtoniana era criticada sobretudo por se entender que implicava a noção de que o espaço interplanetário era completamente vazio, o que exigiria que a acção (considerada atracção) entre as moléculas tivesse lugar sem a intervenção de um meio material intermediário, o que conduzia a regressar às antigas doutrinas que postulavam virtudes ocultas.

Porém, Newton rebateu categòricamente as objecções que lhe foram feitas, nos seguintes termos:

«Supor que a gravidade seja inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo possa actuar sobre outros através do vazio, e sem nenhum meio intermediário que transmita esta acção, ou esta fôrça, de um para outro, é para mim

um absurdo tão grande que julgo impossível que um homem capaz de tratar assuntos filosóficos possa cair nêlo».

É certo, porém, que a linguagem do discípulo de Newton, Cotes, que introduziu no prefácio da segunda edição dos *Principia* a frase «actis in distans» atraçou o pensamento do seu sábio mestre, e contribuiu bastante para produzir a confusão, e justificar apreciações que fundamento algum tinham nas expressões de Newton, e muito menos ainda no seu espirito filosófico. Cotes chegou mesmo a sustentar que a atracção é um attributo da matéria, como a inércia e a impenetrabilidade.

Tenha ou não tenha algum fundamento a lenda, divulgada por Voltaire, da influência que teria tido sôbre o espirito de Newton a observação da queda de uma maçã, é verdade que Newton deduziu as suas proposições de leis verificadas; e sòmente depois de um profundo estudo as generalizou a todo o Universo, tendo receado durante bastante tempo que a sua applicação não tivesse um carácter geral em consequência do resultado errado a que chegou, quando pela primeira vez quis verificar a applicação da sua doutrina no movimento da Lua, por ter aproveitado um valor inexacto para cumprimento de um grau do arco meridiano. Rectificados os cálculos sôbre uma base sufficientemente aproximada fornecida pela medição feita por Picard, logo a concordância appareceu manifesta e ficou justificada a presunção de que os princípios obtidos tinham applicação universal.

Newton, logo que se encontrou seguro da verdade da sua doutrina da gravitação universal, dela tirou interessantes consequências, de alto valor científico. — A causa das marés na acção conjunta do Sol e da Lua: — Que a acção do Sol e da Lua combinada com a da fôrça centrífuga produz o achatamento, a precessão lúni-solar e as desigualdades lunares; e rematou as suas descobertas com o seguinte ensinamento, digno de profunda meditação: «A admirável disposição em que se encontram o Sol, os planetas e os cometas só pode ser obra de um Ser todo poderoso e intelligente».

* * *

Verificado que na doutrina de Newton nada existe que possa induzir em erro, é também oportuno observar que seria impossível na época em que foi descoberta encontrar-lhe uma expli-

cação aceitável. Faltavam os conhecimentos, que só ultimamente foram descobertos, e que se me afigura conduzem a uma doutrina racional e clara que esclarece convenientemente a genial descoberta de Newton, que, com o seu espírito meticoloso, de modo algum os aproveitaria, embora por intuição os pressentisse, como realmente é justo supor que sucedeu, como demonstrarei depois de ter referido o princípio que proponho para base geral da estrutura do Universo.

Alguma cousa de análogo se passou no domínio da óptica, e, pela mesma razão, também foi impossível a Newton sustentar triunfantemente a base da sua doutrina, embora fôsse fundamentada como hoje se reconhece, tendo-se voltado de novo à hipótese corpuscular, que recentes descobertas impõem e que eu sustentei, então talvez só, quando em 1915 pronunciei no Congresso de Valladolid, para o Avanço das Ciências, uma conferência sobre *Temperaturas e Atmosferas Astrais*, na qual largamente me ocupei das doutrinas fundamentais da Física com uma orientação completamente nova na época em que nos encontrávamos, e que em muitos pontos fazia ressurgir o passado.

Várias têm sido as tentativas feitas para dar uma explicação do fenómeno da gravitação universal e das leis que o regem.

Pela minha parte, é oportuno lembrá-lo, apresentei em 1911, no Congresso de Granada, uma justificação simples e clara, baseada numa nova doutrina sobre a estrutura do Universo, para a qual, segundo julgo, importantes argumentos têm aparecido em apoio, como sejam a concepção hoje corrente sobre a causa dos fenómenos luminosos e eléctricos, uns e outros produzidos por correntes corpusculares.

Concretizei a minha doutrina num princípio único apresentado em 1923, no Congresso de Salamanca, com a seguinte expressão:

«O Universo é um conjunto de pontos materiais que possuem e conservam indefinidamente o mínimo de matéria e que livres de ligações possuem o máximo de velocidade. Quaisquer que sejam as modificações por que passem as velocidades, a soma das energias cinéticas e internas conserva-se constante».

Esta concepção resulta imediatamente, como já expus em 1911, de ser um facto verificado a dissociação do átomo, ainda

há pouco tempo considerado inerte e insecável. Por isso a memória que então apresentei principiava com as seguintes considerações:

«Constatado o facto da dissociação da matéria, não deve hesitar-se em chegar às mais remotas conseqüências.

«A sua dissociação deve fornecer-nos os elementos que constituem o Universo, e na consideração destes deve encontrar-se a explicação de todos os fenómenos».

Partindo do referido princípio, reconhece-se que é justificado considerar três estados para a matéria:— matéria dotada de uma acção máxima, constituída por pontos materiais livres, que por esse facto se moverão com velocidade máxima e constituirão *radiantes principais*;— matéria constituída por grupos de pontos materiais com velocidade inferior à dos radiantes principais, *radiantes secundários*;— matéria inerte, sem possibilidade de movimento próprio, e cujo movimento só poderá ter lugar debaixo da acção da matéria existente nos estados anteriores, a qual, quando em movimento, constituirá *radiantes derivados*.

Destas considerações decorre imediatamente que um ponto material exercerá conjuntamente uma acção estática, igual em todos os sentidos, e uma acção dinâmica, vectorial.

Estas acções provocarão campos de duas naturezas, que designo como negativos e positivos. É evidente também que a acção exercida por uma região qualquer dependerá da quantidade de matéria nela existente, e será tanto maior quanto maior fôr a velocidade de que esteja animada essa matéria.

A acção estática que um ponto produz pela sua interposição à passagem das radiações conduz à doutrina do princípio da gravitação universal, que Newton expôs em duas proposições.

Eis como a respectiva explicação é feita na conferência que pronunciei, em Salamanca, em 1923:

«Quando dois radiantes principais constituírem radiantes secundários, ou derivados, pode supor-se que em volta do grupo formado, e em tôdas as direcções que determina, existem radiantes principais em número indefinido vindo desde o infinito. Mas se um outro grupo fôr constituído, o número de radiantes que encontram os dois grupos, e que existem no percurso comprehendido entre elles, será muito inferior ao dos que virão da parte exterior, e tanto mais quanto mais próximos se encontram aqueles grupos, que serão impellidos um para o outro em con-

seqüência de forças que nas condições observadas serão proporcionais às massas e que variarão na razão inversa do quadrado das distâncias».

Será interessante tornar conhecido que, embora Newton se tenha intrincheirado na fórmula «*hypothesis non fingor*», é contudo certo que irresistivelmente conduzido pela necessidade que ao espírito se impõe de investigar a causa dos fenómenos, exactamente quando afirmava esse propósito, aventava uma explicação que muito se harmoniza com a que deixo exposta, mas que Newton não podia adoptar porque na sua época, e ainda há poucos anos, eram desconhecidos os fenómenos da radioactividade.

Eis o que nesta ordem de ideias expõe Newton no liv. 3.º dos *Principia*:

«Ainda não consegui deduzir dos fenómenos a razão das propriedades da gravidade, e *eu não faço hipóteses*. Tudo o que não se deduz dos fenómenos é uma hipótese; e as hipóteses, metafísicas, físicas, mecânicas ou sobre qualidades ocultas, não devem ser aceites na filosofia experimental. Seria ocasião de dizer alguma cousa sobre esta espécie de espírito muito subtil que penetra através de todos os corpos sólidos, e que se oculta na sua substância; é pela força e acção deste espírito que as partículas dos corpos se atraem mutuamente às menores distâncias e que têm coesão quando são contíguas; é por êle que os corpos eléctricos actuam a grandes distâncias, tanto para atrair como para repelir os corpúsculos vizinhos: é também por meio deste espírito que a luz emana, se reflecte, se inflecte, se refracta e aquece os corpos: Todas as sensações são excitadas, e os membros dos animais são movidos, quando a sua vontade o ordena, pelas vibrações desta substância espiritual que se propaga dos órgãos externos dos sentidos, pelos filetes sólidos dos nervos, até ao cérebro, e do cérebro aos músculos. Mas estas cousas não podem explicar-se em poucas palavras, ainda não foram feitas suficientes experiências para serem exactamente determinadas as leis segundo as quais actua êste espírito universal».

É evidente que esta doutrina, que Newton não quer apresentar mesmo como hipótese, mas que, sem dúvida, dominou o seu espírito, e da qual sòmente agora tive conhecimento, e é um beneficio que devo à comemoração que em sua honra está sendo realisada, se harmoniza com a teoria que desde 1911 venho propondo.

A correspondência é manifesta tomando o conjunto dos pontos materiais de matéria mínima e animados de velocidades máximas por aquele — *espírito muito subtil que penetra através de todos os corpos sólidos, e que se oculta na sua substância.*

* * *

Uma importante observação há a fazer sobre a lei da gravitação em consequência da forma como deverá ser interpretada e admitida a explicação que proponho. Fica qualitativamente justificada, mas deverá aceitar-se que a força poderá ter variações quantitativas no espaço e no tempo, em consequência da variação da distribuição dos radiantes. Também poderão dar-se perturbações, mesmo na expressão qualitativa, em resultado da variação na disposição das massas.

Notarei também que é justo recear que das noções de peso, e mesmo de gravitação, não haja geralmente uma ideia bem precisa.

Para melhor exprimir o meu pensamento, chamarei especialmente a atenção para a significação que julgo deverá ser atribuída à palavra peso: — *manifestação da força que um corpo pode exercer em virtude da velocidade efectiva, ou latente, de que está animada a sua massa.*

Atendendo aos três estados em que a massa pode encontrar-se debaixo do ponto de vista da velocidade, três casos deverão ser considerados: — pontos materiais animados de velocidade máxima mas que exercerão uma força finita; grupo de pontos materiais animados de velocidade própria e da que lhe é comunicada pelas radiações principais; e grupos inertes, cujo movimento resulta das acções radiantes que sobre elles actuam. E evidente que, se num logar não houver acções desta ordem para actuar sobre a matéria inerte que aí exista, esta não terá a propriedade designada por peso.

Mas como é limitado o tempo de que posso dispor, e muito seria preciso para me ocupar do assunto que tenho tratado e que constitui o brilhante máximo da coroa de glória de Newton, sòmente observarei ainda que a sua importância é posta bem em evidência pela obra grandiosa que provocou, de que foi genial architecto Laplace.

MEUS SENHORES! — Existem em número infinito maravilhas que a natureza com os mais variados aspectos nos oferece, mas, sem dúvida, superior a tôdas temos a criação humana, que, sobretudo, nos deslumbra quando é revestida por um génio como o de Newton, afirmado na sua imortal obra, — *Principia*, que Lagrange classificou, — *a mais alta produção do espirito humano*.

F. M. DA COSTA LOBO.

Discurso de encerramento,
por Sua Ex.^a o Ex.^{mo} Sr. Embaixador de Inglaterra

MR. RECTOR OF THE UNIVERSITY OF COIMBRA,
LADIES AND GENTLEMEN,

I understand that it is your wish that I should bring the proceedings to a close, and I am certain that I shall express the view of all present when I say that it is with the greatest interest that we have listened to the instructive and learned discourses which we have been privileged to hear this evening. You will not expect me to add anything to what has been said on the subject of the work of the great man whose memory we honour today. My studies, such as they were, lay in the direction of the classics and of history, and I fear that I cannot venture into the great realms of natural philosophy and of mathematics. It has been highly gratifying to me to listen to your tributes to Newton, and I am inevitably put in mind of the lines of the English poet Pope, who was his contemporary :

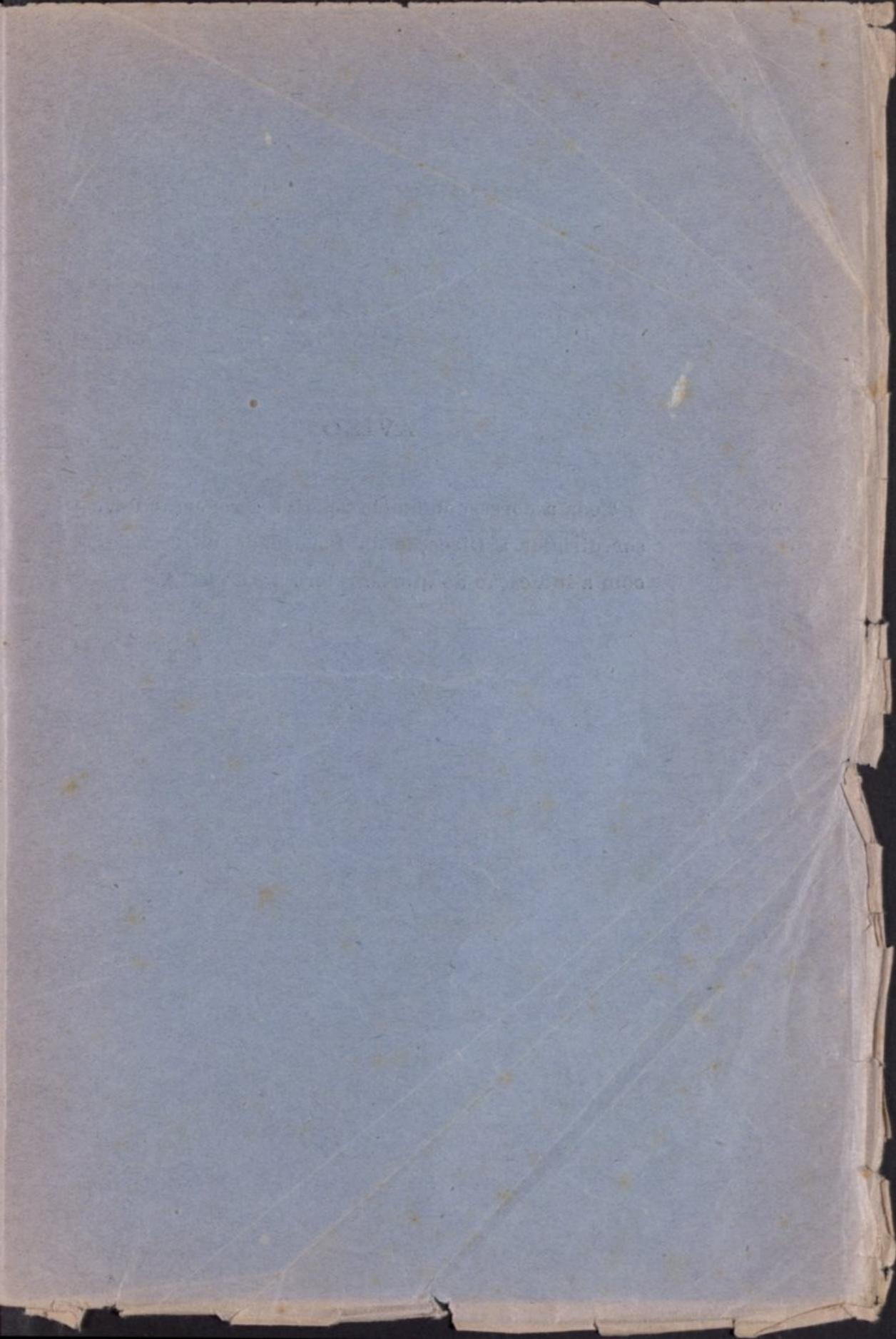
«Nature and Nature's laws lay hid in night:
God said, «Let Newton be!» and all was light».

Two hundred years have passed, and the substantial truth of those lines holds good today. It is interesting to compare that poetic assertion with Newton's own very humble estimate of his work, which is recorded in his Memoirs. With your permission, I will give you his words :

«I do not know what I may appear to the world ; but to myself I seem to have been only like a boy playing on the sea-shore, and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me».

That sentiment has the characteristic modesty of a man who was not only great in intellect, but in character. And may I more especially recommend those words of Newton to the younger members of this University, whose work lies all before you, because it is good to remember that, in spite of Newton's great discoveries, and in spite of all the work of his successors, and of the immense progress which has been made in the last hundred years in our knowledge of the laws of nature, there is yet much work to be done; and it is hardly less true now than it was in Newton's day that the great ocean of truth still lies undiscovered before us.

Mr. Rector, and you, gentlemen, illustrious professors of this University, before, with your permission, I resume my seat, I wish to thank you again for your kind reception of me. I thank you for your tributes to my countryman, and I thank you most sincerely for the great honour you do me in asking me to be present this evening. It will always be amongst my most cherished memories that I was privileged to preside over this distinguished assembly on an historic occasion in the ancient and far-famed University of Coimbra.



AVISO

Tôda a correspondência relativa à redacção deve ser dirigida à Direcção da Faculdade de Ciências, com a indicação de que se refere à REVISTA.