

## André-Marie Ampère . Ο Νόμος και οι εφαρμογές.

### Η πρώιμη ζωή ,το ιστορικό πλαίσιο, η επιστημονική πορεία

Ο André-Marie Ampère, (20 Ιανουαρίου 1775 Λυών-10 Ιουνίου 1836 Μασσαλία) ήταν φυσικός και θεμελιωτής της Ηλεκτροδυναμικής που σήμερα γνωρίζουμε ως Ηλεκτρομαγνητισμό.

Γόνος μια εύπορης αστικής οικογένειας γεννήθηκε σε μια εποχή που ο γαλλικός Διαφωτισμός ήταν στην κορύφωσή του. Ο πατέρας του Jean-Jacques Ampère ήταν ένας επιτυχημένος έμπορος και μεγάλος θαυμαστής του Jean-Jacques Rousseau. Ο Rousseau στην πραγματεία του «Émile» (ή «On Education»), υποστηρίζει ότι τα νεαρά αγόρια πρέπει να αποφεύγουν την επίσημη εκπαίδευση και να επιδιώκουν μια «εκπαίδευση απ' ευθείας από τη φύση» <sup>(1)</sup>. Ο πατέρας του Ampère προσχώρησε σ' αυτήν την άποψη και άφησε το γιο του να εκπαιδευτεί μέσα στην πλούσια βιβλιοθήκη του, ενώ η οικογένεια περνούσε μεγάλο μέρος του χρόνου στο εξοχικό που διέθετε δέκα χιλιόμετρα μακριά από τη Λυών στο Poleymieux (=Πολιμιέ).



André-Marie Ampère

Αριστουργήματα του γαλλικού Διαφωτισμού , όπως το «*Histoire naturelle, générale et particulière*» του Georges-Louis Leclerc, και «*Encyclopédie*» των Denis Diderot και Jean Le Rond d' Alembert καθώς και η πρόσβαση του στα πιο πρόσφατα βιβλία Μαθηματικών της εποχής επέδρασαν καθοριστικά στη διαμόρφωση μιας προσωπικότητάς που άρχισε να αυτοδιδάσκεται ανώτερα Μαθηματικά σε ηλικία 12 ετών. Η μητέρα του Jeanne Antoinette de Sarcey (1749-1809) ήταν βαθιά θρησκευόμενη και έτσι ο νεαρός André-Marie μυήθηκε στο Καθολικό Δόγμα παράλληλα με την ενασχόληση του με τα επιστημονικά επιτεύγματα της εποχής των «Νέων Χρόνων».

Ο ίδιος ο Ampère γράφει στην αυτοβιογραφία του σε τρίτο πρόσωπο<sup>(2)</sup> «Ο πατέρας του, που ποτέ δεν έπαυσε να καλλιεργείται στη Λατινική και Γαλλική Λογοτεχνία καθώς και σε διάφορους κλάδους της επιστήμης, τον ανέθρεψε ο ίδιος στην ύπαιθρο κοντά στην πόλη που γεννήθηκε. Ποτέ δεν απαίτησε από αυτόν να μελετήσει κάτι, αλλά γνώριζε πως να του εμπνεύσει την επιθυμία να μάθει. Πριν αποκτήσει την ικανότητα να διαβάζει, η μεγαλύτερη απόλαυση του ήταν να ακούει κομμάτια από την ' *Histoire naturelle* ' του κόμη de Buffon (Σ.Σ πρόκειται για τον Georges-Louis Leclerc) ». Πολλά χρόνια αργότερα ο Dominique François Jean Arago θα παρατηρούσε ότι «μπορούσε να απαγγέλει πλήρως κομμάτια από

την "Εγκυκλοπαίδεια"» <sup>(2)</sup> την οποία άρχισε να διαβάζει από τον πρώτο τόμο με αλφαβητική σειρά. Ίσως σ' αυτό να οφείλεται και η έφεση του στην ταξινόμηση των θετικών επιστημών με τις οποίες ασχολήθηκε συστηματικά.

Η άποψη ότι νεαρός Ampère είχε αποκτήσει πλήρη γνώση όλων των γνωστών Μαθηματικών της εποχής αμφισβητείται ως υπερβολική, καθόσον μέχρι την ηλικία των 13 ετών δεν είχε αρχίσει τη μελέτη βιβλίων στοιχειωδών Μαθηματικών, και αποδίδεται στην αυτοπεποίθησή του στην ικανότητά του να αναπτύσσει μαθηματικές ιδέες και στο γεγονός ότι δεν είχε επαφή με κάποιον που να έχει βαθιά γνώση των Μαθηματικών με αποτέλεσμα να θεωρεί ότι οι ιδέες του ήταν πρωτότυπες. Ήταν μόλις 13 ετών όταν υπέβαλλε στην Ακαδημία της Λυών την πρώτη του εργασία που αφορούσε στην επίλυση του προβλήματος της κατασκευής μιας ευθείας γραμμής του ίδιου μήκους με το τόξο ενός κύκλου. Η μέθοδός του χρησιμοποιούσε τις απειροελάχιστες μεταβολές, αλλά καθώς δεν είχε μελετήσει Απειροστικό Λογισμό η εργασία δεν κρίθηκε ως άξια δημοσίευσης. Αμέσως άρχισε να διαβάζει τον Διαφορικό Λογισμό του D' Alembert και συνειδητοποίησε ότι πρέπει να μάθει περισσότερα Μαθηματικά. Αφού έλαβε μερικά μαθήματα από κάποιο μοναχό στη Λυών, άρχισε να μελετά τις εργασίες των Euler και Bernoulli. Αργότερα απέκτησε ένα αντίγραφο της έκδοσης του 1788 της «*Mécanique analytique*» του Lagrange και άρχισε τη σοβαρή μελέτη της. Ο ίδιος γράφει πάλι σε τρίτο πρόσωπο <sup>(2)</sup> «...η ανάγνωση της (*Mécanique analytique*) τον εμψύχωσε με νέο ζήλο. Επανέλαβε όλους του υπολογισμούς σ' αυτήν ...»

Η Γαλλική Επανάσταση (1789-1799) θα παίξει επίσης καθοριστικό ρόλο στη ζωή του έφηβου André-Marie καθώς θα τη βιώσει με τρόπο τραγικό γι' αυτόν και την οικογένειά του. Το 1791 ο πατέρας του κλήθηκε από τη νέα επαναστατική κυβέρνηση να υπηρετήσει ως ειρηνοδίκης στη Λυών ενώ η οικογένεια χάνει την αδελφή του André-Marie το 1792. Αρχικά η πατέρας του δεν είχε ιδιαίτερα προβλήματα κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του καθώς η περιοχή του Roletmieux δεν απασχολούσε ιδιαίτερα την κεντρική κυβέρνηση στο Παρίσι. Η φύση της θέσης όμως δεν άργησε να του δημιουργήσει προβλήματα. Το Μάρτιο του 1793 η φράξια των Ιακωβίνων κυριαρχεί στην «Εθνοσυνέλευση» και προσπαθεί να επιβληθεί και στη Λυών η οποία για μια σειρά από ιστορικούς λόγους (ισχυρή Καθολική παράδοση, έντονη εμπορική ζωή λόγω του εμπορίου μεταξιού) δεν ήταν μια πόλη που μπορούσε να αποδεχθεί ακραίες επαναστατικές ιδέες και ιδιαίτερα την έντονη δραστηριότητα των Ιακωβίνων εκφραστών τους.

Οι Γιρονδίνοι και οι φιλοβασιλικοί αντιδρούν και τις 29 Μαΐου συλλαμβάνουν επιφανή μέλη των Ιακωβίνων και μεταξύ αυτών τον Joseph Chalier που ήταν ο επικεφαλής της «Κεντρικής Λέσχης» των Ιακωβίνων της Λυών. Παρά τις προσπάθειες για διαπραγμάτευση μεταξύ της

κεντρικής Κυβέρνησης στο Παρίσι και των αρχών της Λυών –που αργότερα μετατράπηκαν σε απειλές από πλευράς της «Συνέλευσης» - ο Chalier καταδικάστηκε σε θάνατο στις 16 Ιουλίου και την επόμενη ημέρα εκτελέστηκε.

Η απάντηση από το Παρίσι ήταν η πολιορκία της Λυών από τις 9 Αυγούστου και η κατάληψή της από τους Ιακωβίνους δύο μήνες αργότερα. Ο Jean-Jacques Ampère συνελήφθη αμέσως και στις έξι εβδομάδες που πέρασε στη φυλακή, δεν είχε καμία αμφιβολία για τη μοίρα του. Οδηγήθηκε στη γκιλοτίνα στις 22 Νοεμβρίου του 1793. Αξίζει να σημειωθεί ότι είχε συνταχθεί με τις ιδέες της «Επανάστασης» και είχε γράψει ένα έργο – παραβολή για αυτές με τίτλο «*Artaxerxe ou le Roi constitutionnel = Αρταξέρξης ή ο Συνταγματικός βασιλιάς*», δεν είχε συμμετάσχει στην εκδίκαση της υπόθεσης του Chalier, παρά μόνο στην σύλληψή του και ότι οι φυσικοί δικαστές του Chalier <sup>(5)</sup> (Cozon, Pourret, Régnier και Maret) δεν τιμωρήθηκαν ποτέ. Μέσα από το κελί του θα γράψει στη σύζυγό του <sup>(2)</sup> «*Επιθυμώ ο θάνατός μου να είναι η επισφράγιση μιας γενικής επανασυμφιλίωσης μεταξύ όλων των αδελφών μας, συγχωρώ αυτούς που χαίρονται γι' αυτόν, αυτούς που τον προκάλεσαν και αυτούς που τον διέταξαν...*».

Ο θάνατος του πατέρα του υπήρξε για τον Ampère καταστροφικός. Για 18 μήνες απέφευγε να μιλήσει σε οποιονδήποτε, βυθίστηκε στην κατάθλιψη και σταμάτησε τη μελέτη της «*Mécanique analytique*». Ξαναβρήκε τον παλιό εαυτό του το 1796, όταν συνάντησε ένα κορίτσι, την Julie Carron, την οποία ερωτεύθηκε σφοδρά. Η Julie δεν έδειξε αντίστοιχα αισθήματα καθώς πίστευε ότι ο Ampère «*δεν είχε τρόπους, ήταν δύστροπος, ντροπαλός και παρουσίαζε τον εαυτό του με άσχημο τρόπο...*» <sup>(2)</sup>. Παρά τη έλλειψη ενδιαφέροντος από την Julie θα αρραβωνιαστούν το 1797 και ο Ampère για να πείσει για την δυνατότητα του να βιοποριστεί, άρχισε να διδάσκει Μαθηματικά στη Λυών. Παντρεύτηκε την Julie το 1799 και το 1800 γεννήθηκε ο γιός τους Jean-Jacques.

Η προσωπικότητα του André-Marie Ampère έμελλε να προσεγγισθεί καλλίτερα από ένα τυχαίο γεγονός πολλά χρόνια αργότερα. Τον Ιανουάριο του 1986 ο Pearce L. Williams ιστορικός από το Πανεπιστήμιο Cornell <sup>(3)</sup> ο οποίος θεωρείται αυθεντία σε θέματα που αφορούν τη βιογραφία του Ampère βρισκόταν στο Παρίσι σε αναζήτηση πηγών για μια βιογραφία του. Σ' ένα κατάστημα που εξειδικευόταν σε αγοραπωλησίες σπάνιων βιβλίων και χειρογράφων αναζήτησε υλικό που να έχει σχέση με τον Ampère, χωρίς να βρει κάτι. Μόλις 15 λεπτά μετά την απομάκρυνσή του από το κατάστημα εμφανίστηκε κάποιος ο οποίος ενδιαφερόταν να πουλήσει μια συλλογή γραμμάτων που είχε γράψει ο Ampère σε ηλικία 20 ετών το 1795. Περισσότερες από 250 σελίδες αλληλογραφίας είχαν βρεθεί στον αχυρώνα ενός πύργου που είχε κληρονομήσει ο πωλητής στη Λυών και απευθύνονταν σε κάποιον με

επίθετο Courrier που προφανώς κατοικούσε στον πύργο και μάλλον ήταν κάποιος πλούσιος γείτονας της οικογένειας Ampère. Τα γράμματα απαντούσαν σε ερωτήσεις για «μηχανικές επινοήσεις» και ο Courrier μάλλον πρέπει να εμπλεκόταν με την επεξεργασία μεταξίου που ανθούσε στη Λυών. Ο έμπορος επικοινωνήσε άμεσα με τον Dr. Williams και μετά από μήνες διαπραγματεύσεων το πανεπιστήμιο του Cornell απέκτησε την αλληλογραφία έναντι 30.000\$, ποσό που συγκεντρώθηκε από δωρεές αποφοίτων και φίλων του πανεπιστημίου.

Η συστηματική μελέτη των γραμμάτων αποκάλυψε ότι ένα άρθρο που διάβασε ο νεαρός André-Marie για την αρμονία μεταξύ Μουσικής και Μαθηματικών είχε μια βαθιά εσωτερική επίδραση στον τρόπο σκέψης του και στην επιστημονική του πρακτική, όταν θα απαντούσε στα ερωτήματα για τα ηλεκτρικά ρεύματα. Τα γράμματα επίσης έδειξαν πως το μυαλό ενός νεαρού αυτοδίδακτου ανθρώπου από την Λυών μπορούσε να εκτείνεται από τα Μαθηματικά και την Αστρονομία έως τις ιδέες του Leibniz, από τη Βοτανική στα σχέδια για μια παγκόσμια γλώσσα και σε μεταφράσεις στο έργο του Οράτιου. Σε ένα γράμμα, που μεταφράστηκε από τον Dr. Williams, ο Ampère έγραφε με παιδική απλότητα: <sup>(3)</sup> «Μπορείτε να δείτε ότι ο τρόπος με τον οποίο χοροπηδάω είναι ο τρόπος για να μην γίνει απολύτως τίποτα με επιτυχία. Αλλά καθώς αυτές οι ιδέες μου έρχονται, απλά πρέπει να τις ακολουθήσω.»

Στο πρώτο γράμμα προς τον Courrier εξηγεί γιατί είναι αδύνατη η αέναη κίνηση μιας μηχανής και σε επίρρωση των απόψεών του επικαλείται την «*Mécanique analytique*» του Lagrange και τη θεωρία των «*living forces=ζωσών δυνάμεων*» του Leibniz που ήταν η πρόδρομη διατύπωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Επίσης έκανε αναφορές σ' ένα άρθρο του Diderot για την αρμονία στην «*Εγκυκλοπαίδεια*» από τις οποίες φαίνεται η βαθιά επιρροή που έπαιξε η αρμονία στη μεταγενέστερη φιλοσοφία του για την επιστήμη.

Ο Dr. Williams <sup>(3)</sup> υποστηρίζει ότι ο Ampère έδειχνε ότι ενδιαφερόταν περισσότερο για τη συνάφεια των φαινομένων ακολουθώντας ένα δόγμα γνωστό ως «*rappports=αναφορές*» παρά με την απλή περιγραφή των επιμέρους τμημάτων που βασιζόταν στην άμεση παρατήρηση. Το ενδιαφέρον του για τις διασυνδέσεις των φαινομένων τον έκανε να είναι ένας από τους πρώτους που αναγνώρισαν τη σχέση μεταξύ ηλεκτρισμού και μαγνητισμού. Ήδη από την αλληλογραφία του 1795 προκύπτει η μετέπειτα αντιμαχία του ώριμου Ampère με το κυρίαρχο φιλοσοφικό ρεύμα της γαλλικής επιστημονικής σκέψης, τον θετικισμό. Οι θετικιστές θεωρούσαν κάθε προσπάθεια θεωρητικοποίησης ως αντιεπιστημονική. Ο Ampère έδινε όλο και περισσότερη έμφαση σε μια ευφάνταστη θεωρητικοποίηση και μαθηματική ανάλυση παρά στον πειραματισμό. Αντίθετα οι θετικιστές έδιναν προσοχή μόνο στην άμεση παρατήρηση και σε ότι μπορούσαν να δουν και απέρριπταν εξηγήσεις που βασιζόνταν σε «κρυμμένες δυνάμεις». Ο Ampère «έπαιξε με τις ιδέες της μεταφυσικής σε μια προσπάθεια

να κατανοήσει τον αισθητό κόσμο». Σ' ένα από τα γράμματα γράφει « *Στη Μηχανική τα πειράματα δεν είναι αναγκαία ούτε απαιτούνται, εφόσον τα Μαθηματικά μας λένε τι είναι δυνατό και τι είναι αδύνατο* ». <sup>(3)</sup>

Η Γαλλική Επανάσταση δεν προκάλεσε μόνον προσωπικά δράματα , αλλά δημιούργησε και επιστημονικούς θεσμούς που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην επιστημονική και επαγγελματική πορεία του André-Marie Ampère. Ο νεαρός οικογενειάρχης, όπως προαναφέρθηκε, από το 1799 βιοποριζόταν ως δάσκαλος Μαθηματικών και η επαγγελματική και επιστημονική του ωριμότητα έμελλε να πραγματοποιηθεί σε μια εποχή που στη Γαλλία συνέβαινε η μετάβαση στο Ναπολεόντειο καθεστώς στο οποίο η δημιουργία τεχνοκρατικών υποδομών είχε την εύνοια του νέου αυτοκράτορα. Μέσα σ' αυτό το περιβάλλον ο νεαρός δάσκαλος βρήκε τις ευκαιρίες που τον οδήγησαν στην επιτυχία.

Η ενασχόληση του με τη διδασκαλία των Μαθηματικών συνεχίστηκε μέχρι το 1802 , όταν και διορίστηκε ως καθηγητής Φυσικής και Χημείας στην «*École Central*» στο Bourg- en - Bresse (Σ.Σ Μπουργκ-αν-Μπρες , πρωτεύουσα το νομού Αιν της ιστορικής επαρχίας Μπρες στην ανατολική Γαλλία). Το ίδιο έτος η υγεία της γυναίκας του Julie είχε αρχίσει να κλονίζεται και η απομάκρυνσή του από το Poleymieux του δημιούργησε δυσκολίες. Διέθετε τον περισσότερο χρόνο του στην έρευνα των Μαθηματικών και το 1803 θα αποστείλει στην «Ακαδημία των Επιστημών» την πραγματεία του με τίτλο "*Considérations sur la théorie mathématique de jeu = Θεωρήσεις στη μαθηματική θεωρία των παιγνίων*". Ο Laplace (Σ.Σ Pierre-Simon, marquis de Laplace 1749 –1827 Γάλλος Ακαδημαϊκός, Πολυμαθής, Φυσικός, Μαθηματικός, Μηχανικός, Αστρονόμος και Φιλόσοφος) θα επισημάνει ένα λάθος και με επιστολή που θα του στείλει θα τον βοηθήσει να κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις. Θα υπάρξουν πολλές άλλες και ο ίδιος θα παραμείνει διστακτικός για το αν η δουλειά του είχε πραγματικά τελειώσει μέχρι να αποφασίσει να την στείλει εκ νέου. Το ίδιο έτος θα δημοσιεύσει και μια δεύτερη εργασία σε σχέση με τον «*Λογισμό των μεταβολών*». Επίσης το 1803 μετά από συστάσεις του Delambre (Σ.Σ Jean Baptiste Joseph Delambre 1749-1822 Γάλλος Αστρονόμος) θα διοριστεί στο Lycée (=Λύκειο) στη Λυών για να διδάξει Μαθηματικά και έτσι θα βρεθεί πιο κοντά στο Poleymieux. Θα συνεχίσει τις εργασίες του στο πεδίο των Μαθηματικών και συγκεκριμένα στην Αναλυτική Γεωμετρία. Η υγεία της γυναίκας του επιδεινώνεται και τον Ιούλιο του ίδιου έτους θα φύγει από τη ζωή. Η απώλειά της θα τον γεμίσει ενοχές για τον χρόνο που δεν πέρασε μαζί της στο σύντομο γάμο τους. Αποφάσισε να φύγει από τη Λυών και να πάει στο Παρίσι.

Ο J. Hofman <sup>(4)</sup> περιγράφει την ψυχολογική του κατάσταση και τα συναισθήματά του μετά την απώλεια της γυναίκας του «*Η κατάθλιψη που ακολούθησε συνέβαλλε στην απόφασή του*

*να αφήσει τη Λυών με την πρώτη ευκαιρία και να βρεθεί στα περίχωρα του Παρισιού. Αργότερα θα μετανιώσει γι' αυτή του την απόφαση. Οι φίλοι του στη Λυών, που προσπάθησαν να γεμίσουν το κενό που άφησε ο θάνατος της Julie, ήταν γι' αυτόν μια επώδυνη απώλεια. Αν και βαθμιαία προσαρμόστηκε στο να δίνει προτεραιότητα στις εσωτερικές διαμάχες της Παρισινής επιστημονικής κοινότητας, πάντα επιθυμούσε την επιστροφή στην πνευματική ζωή που έζησε στη Λυών.»*

Την ίδια εποχή ο Ampère είχε καλή φήμη και ως δάσκαλος και ως ερευνητής των Μαθηματικών και αυτό θα συντελέσει στον διορισμό του ως répétiteur (=προσωπικός δάσκαλος, εκπαιδευτής, γαλλικός όρος αντίστοιχος του αγγλικού tutor) στην École Polytechnique το 1804. Ένας διορισμός που εξέπληξε γιατί έγινε χωρίς να υπάρχει η τυπική εκπαίδευση και τα τυπικά προσόντα, αλλά ταυτόχρονα έδειξε ότι οι δυνατότητες του είχαν ήδη αναγνωριστεί.

Οι προσωπικές τραγωδίες που ήδη είχε βιώσει έμελλε να συνεχιστούν καθώς ενεπλάκη σ' έναν αποτυχημένο και καταστροφικό δεύτερο γάμο με την Jenny-Françoise Potot την 1η Αυγούστου του 1806. Στην γαμήλια τελετή θα παρευρέθηκαν οι Lagrange (Σ.Σ Joseph-Louis Lagrange ή Giuseppe Lodovico Lagrangia, 1736-1813 ιταλικής καταγωγής σπουδαίος Μαθηματικός, Φυσικός και Αστρονόμος που έζησε μεγάλο μέρος της ζωής του στη Γαλλία και στην Πρωσία) και Delambre, αλλά το ζεύγος θα χωρίσει ουσιαστικά πριν την γέννηση της κόρης τους Albine στις 6 Ιουλίου του 1807 και τυπικά το 1808, ενώ η επιμέλεια της κόρης τους θα δοθεί στον Ampère.

Διορίστηκε ως καθηγητής στην «*École Polytechnique*» το 1809 και θα διατηρήσει τη θέση αυτή μέχρι το 1828. Μοιράστηκε τη διδασκαλία της Ανάλυσης και Μηχανικής με τον Cauchy (Σ.Σ Βαρώνος Augustin-Louis Cauchy 1789-1857 σπουδαίος Γάλλος Μαθηματικός, Φυσικός και Μηχανικός, από τους πρωτοπόρους της θεμελίωσης της Μαθηματικής Ανάλυσης και της Μηχανικής των Συνεχών Μέσων). Ο ανταγωνισμός τους και σε επίπεδο διδασκαλίας υπήρξε ιδιαίτερα έντονος. Ο αυστηρός τρόπος διδασκαλίας της Ανάλυσης από τον Cauchy αναμφίβολα οδήγησε σε μεγάλη εξέλιξη τα Μαθηματικά, αλλά καθιστούσε δύσκολη την παρακολούθηση από τους σπουδαστές οι οποίοι προτιμούσαν την περισσότερο συμβατική προσέγγιση που είχε η διδασκαλία του Ampère στην Ανάλυση και τη Μηχανική. Θα διοριστεί σε έδρα καθηγητή στο «*Université de France*» το 1826, θέση που θα διατηρήσει μέχρι το θάνατό του.

Κατά την παραμονή του στο Παρίσι ασχολήθηκε με μια μεγάλη γκάμα θεμάτων, αν και καθηγητής Μαθηματικών στα ενδιαφέροντα του περιλαμβάνονταν η Φυσική, η Χημεία και η Μεταφυσική. Στα Μαθηματικά ασχολήθηκε με την ταξινόμηση των Μερικών Διαφορικών

Εξισώσεων την οποία παρουσίασε το 1814 στο «*Institut National des Sciences=Εθνικό Ινστιτούτο των Επιστημών*» και απετέλεσε το αποφασιστικό βήμα για την εκλογή του σ' αυτό, αφού στη σχετική ψηφοφορία κέρδισε τον Gauchy με 28 ψήφους σε σύνολο 56.

Σημαντική και η συνεισφορά του στο πεδίο της Χημείας, το 1811 θα προτείνει ότι ένα άνυδρο οξύ που παρασκεύασε δύο χρόνια νωρίτερα ήταν η σύνθεση υδρογόνου και ενός άγνωστου στοιχείου ανάλογου του χλωρίου για το οποίο πρότεινε την ονομασία φθόριο. Επανήλθε στην ενασχόλησή του με τη Χημεία το 1814, αφού είχε εξασφαλίσει την είσοδό του στο «*Institut National des Sciences*», με τη συστηματική ταξινόμηση των στοιχείων το 1816 (μισό αιώνα πριν από τον Dmitri Mendeleev). Εργάστηκε στη θεωρία του φωτός, δημοσιεύοντας για τη διάθλαση του το 1815. Από το 1816 υπήρξε σφοδρός υπερασπιστής της κυματικής θεωρίας του φωτός μαζί με τον Fresnel (Σ.Σ Augustin-Jean Fresnel, 1788 - 1827, Γάλλος φυσικός και εφευρέτης) αντιτιθέμενος στους Biot (Σ.Σ Jean-Baptiste Biot 1774 -1862, Γάλλος Φυσικός, Αστρονόμος και Μαθηματικός), Laplace και Poisson, (Σ.Σ Siméon-Denis Poisson, 1781 - 1840, Γάλλος Μαθηματικός γνωστός για τις εργασίες του στα ορισμένα ολοκληρώματα, τις σειρές Fourier, την ηλεκτρομαγνητική θεωρία και τις πιθανότητες), που ήταν υποστηρικτές της σωματιδιακής φύσης του φωτός. Η φιλία του με τον Fresnel ήταν ιδιαίτερα στενή καθώς ο τελευταίος φιλοξενήθηκε στο σπίτι του Ampère από το 1822 μέχρι το θάνατό του το 1827.

## **Η Θεωρητική και πειραματική θεμελίωση του Ηλεκτρομαγνητισμού (Ηλεκτροδυναμικής). Οι πρωταγωνιστές και οι επιστημονικές διαμάχες τους.**

Το 1800 υπήρξε ένα έτος σταθμός για την πορεία των ερευνών στο πεδίο του ηλεκτρισμού καθώς ο Alessandro Volta (Σ.Σ Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, 1745-1827, Ιταλός Φυσικός), θα ανακοίνωνε την ανακάλυψη της ηλεκτρικής στήλης (μπαταρίας). Οι ερευνητές εκείνης της εποχής θα είχαν στη διάθεσή τους για πρώτη φορά μια αξιόπιστη πηγή μικρής τάσης που θα έδινε σταθερό ρεύμα.

Ήταν γνωστό από καιρό ότι η οριζόντια μαγνητική βελόνα μιας πυξίδας, που μπορούσε να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα που διερχόταν από το κέντρο της και συγκρατείτο σε ηρεμία σε τυχαία διεύθυνση σε σχέση με το Γήινο Γεωγραφικό Μεσημβρινό, όταν αφήνονταν ελεύθερη να στραφεί προσανατολιζόταν σ' έναν διαφορετικό προσανατολισμό που



Hans Christian Ørsted

αποκλήθηκε Τοπικός Μαγνητικός Μεσημβρινός και ήταν ένας φανταστικός κύκλος που συνέδεε τον Νότιο Μαγνητικό με τον Βόρειο Μαγνητικό πόλο της Γης. Ο Νότιος Μαγνητικός πόλος της Γης ήταν κοντά στο Βόρειο Γεωγραφικό πόλο της Γης και ο Βόρειος Μαγνητικός πόλος ήταν κοντά στο Νότιο Γεωγραφικό της Γης.

Ο Δανός Hans Cristian Ørsted (Σ.Σ Hans Christian Ørsted ή Oersted, 1777-1851 Δανός Φυσικός και Χημικός καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης από το 1806) παρατήρησε ότι μια μαγνητική βελόνα αποκλίνει από την επίδραση ενός γειτονικού της ηλεκτρικού ρεύματος. Για να χαρακτηρίσει την ανακάλυψή του ο Ørsted θα δημιουργήσει δύο νέες λέξεις –όρους , *ηλεκτρομαγνητικός* και *ηλεκτρομαγνητισμός* οι οποίες θα εμφανιστούν για πρώτη φορά στους τίτλους δύο εργασιών που εξέδωσε το 1820 και 1821 «*New electro-magnetic experiments*» και «*Observations on electro-magnetism*».

Το πείραμα Ørsted απετέλεσε την αρχή για την μελέτη της σχέσης μεταξύ ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων. Η εργασία του αυτή δεν στάλθηκε σε κάποιο επιστημονικό περιοδικό της εποχής, αλλά σε αρκετούς επιστήμονες με μορφή φυλλαδίου τεσσάρων σελίδων (μπροσούρας) και στα Λατινικά. Ήταν 21 Ιουλίου του 1820. Προκάλεσε μεγάλη αίσθηση, μεταφράστηκε και εκδόθηκε σε πολλά επιστημονικά περιοδικά.

Ο ίδιος περιέγραψε κάποιες από τις ανακαλύψεις του με τις επόμενες γραμμές. <sup>(6)</sup>

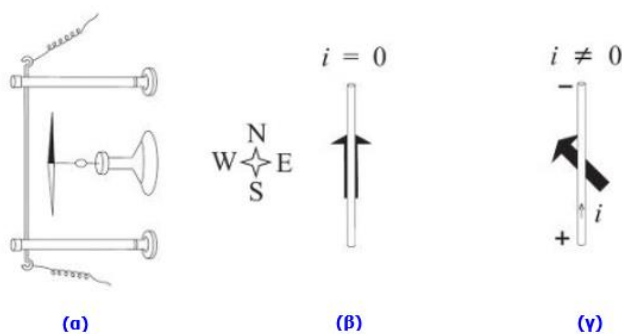
*« Τα αντίθετα άκρα της γαλβανικής μπαταρίας συνδέθηκαν μ' ένα μεταλλικό σύρμα το οποίο χάριν συντομίας θα το ονομάσουμε αγωγό σύνδεσης ή σύρμα σύνδεσης. Στο φαινόμενο που λαμβάνει χώρα στον αγωγό και τον περιβάλλοντα χώρο θα δώσουμε το όνομα σύγκρουση ηλεκτρικής ενέργειας.*

*Αφήνουμε το ευθύγραμμο τμήμα του σύρματος σε οριζόντια θέση πάνω από τη μαγνητική βελόνα, έτσι ώστε αυτή να αιωρείται κατάλληλα και παράλληλα προς αυτό. Αν είναι αναγκαίο, λυγίζουμε το σύρμα σύνδεσης έτσι ώστε, να πάρει κατάλληλη θέση για το πείραμα. Με τα πράγματα να είναι σ' αυτή την κατάσταση, η βελόνα θα κινηθεί και ο πόλος της που είναι προς την αρνητική πλευρά της μπαταρίας θα στραφεί προς τα Δυτικά.*

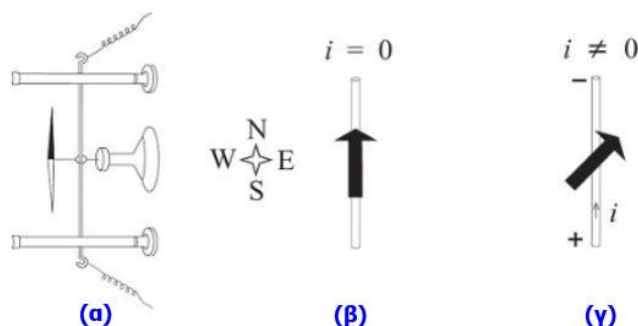
*Αν η απόσταση του σύρματος σύνδεσης από την βελόνα δεν υπερβαίνει τα  $\frac{3}{4}$  της ίντσας, η απόκλιση της βελόνας θα είναι μια γωνία περίπου  $45^\circ$ . Αν η απόσταση μεγαλώνει η απόκλιση μικραίνει ανάλογα. Η απόκλιση μεταβάλλεται επίσης με την ισχύ της μπαταρίας.*

*Αν το σύρμα σύνδεσης τοποθετηθεί σε οριζόντιο επίπεδο κάτω από τη μαγνητική βελόνα, όλα τα φαινόμενα είναι ίδια, όπως όταν η βελόνα ήταν πάνω από το σύρμα σύνδεσης, μόνον που είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση, ο πόλος της μαγνητικής βελόνας που είναι προς την αρνητική πλευρά της μπαταρίας θα κινηθεί προς τα Ανατολικά.»*





Στην εικόνα <sup>(6)</sup> φαίνεται το πείραμα Ørsted, όταν το σύρμα σύνδεσης βρίσκεται πάνω από τη μαγνητική βελόνα. Στα στιγμιότυπα **(α)** και **(β)** η μαγνητική βελόνα είναι προσανατολισμένη στο Μαγνητικό μεσημβρινό, στο **(γ)** ένα σταθερό ρεύμα έχει φορά από το Νότο προς το Βορρά, η μαγνητική βελόνα αποκλίνει με το Βόρειο πόλο της να στρέφεται προς τα Δυτικά.



Στην εικόνα <sup>(6)</sup> φαίνεται το πείραμα Ørsted, όταν το σύρμα σύνδεσης βρίσκεται κάτω από τη μαγνητική βελόνα. Στα στιγμιότυπα **(α)** και **(β)** η μαγνητική βελόνα είναι προσανατολισμένη στο Μαγνητικό μεσημβρινό, στο **(γ)** ένα σταθερό ρεύμα έχει φορά από το Νότο προς το Βορρά, η μαγνητική βελόνα αποκλίνει με το Βόρειο πόλο της να στρέφεται προς τα Ανατολικά.

Η δυσπιστία των επιστημόνων προς τα αποτελέσματα του πειράματος Ørsted οφείλονταν κυρίως στο γεγονός ότι η απόκλιση της μαγνητικής βελόνας προς τα Δυτικά ή Ανατολικά προκαλούσε «σπάσιμο της συμμετρίας» ενώ, σύμφωνα με τις κρατούσες απόψεις της εποχής δεν έπρεπε να υπάρχει κάποια προτίμηση της μιας πλευράς του κατακόρυφου επιπέδου σε σχέση με την άλλη.

Ο ίδιος θα ερμηνεύσει τα αποτελέσματα των πειραμάτων του σε σχέση με την απόκλιση της μαγνητικής βελόνας με την παραδοχή ότι η «σύγκρουση ηλεκτρικής ενέργειας» δρα μόνον σε σωματίδια με μαγνητικές ιδιότητες. Τα σώματα που δεν εμφανίζουν μαγνητικές ιδιότητες είναι διαπερατά από τη «σύγκρουση ηλεκτρικής ενέργειας», ενώ τα μαγνητικά σώματα ή καλλίτερα τα μαγνητικά σωματίδιά τους αντιστέκονται στη διέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως κινούνται από την ώθηση των αντιμαχόμενων δυνάμεων. Θα θεωρήσει προφανές το γεγονός της επέκτασης της «σύγκρουσης ηλεκτρικής ενέργειας» εκτός του αγωγού στον γειτονικό του χώρο και θα το αποδώσει στον σχηματισμό κύκλων από τη «σύγκρουση ηλεκτρικής ενέργειας», χωρίς τη συνθήκη αυτή δεν είναι δυνατόν να εξηγηθεί το γεγονός της απόκλισης του Βόρειου μαγνητικού πόλου της βελόνας Δυτικά ή Ανατολικά, όταν το σύρμα σύνδεσης βρίσκεται πάνω ή κάτω από τη βελόνα αντίστοιχα.

Οι ερμηνείες των Ørsted και Ampère για τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους ήταν διαφορετικές και η διαμάχη αναπόφευκτη.

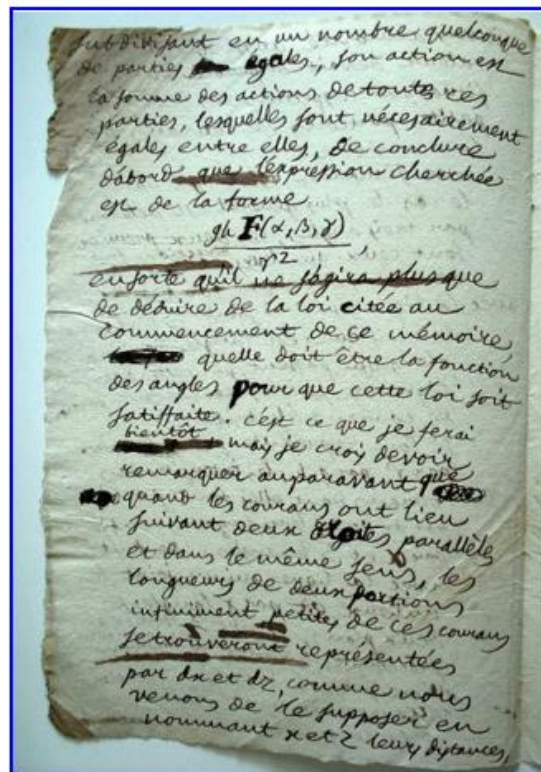
Ο Ampère :

1.απέρριπτε την ερμηνεία του Ørsted γιατί δεν πίστευε στην ύπαρξη μαγνητικών πόλων, αλλά όπως θα δούμε, απέδιδε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στην αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικών ρευμάτων.

2. Αντίτιθετο στην ιδέα σχηματισμού κυκλικών δινών γύρω από τους ρευματοφόρους αγωγούς και

3.μέχρι τέλους υποστήριζε ότι ο Ørsted δεν πέτυχε ποτέ να εξηγήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών, φαινόμενο που πρώτος αυτός παρατήρησε και ερμήνευσε.

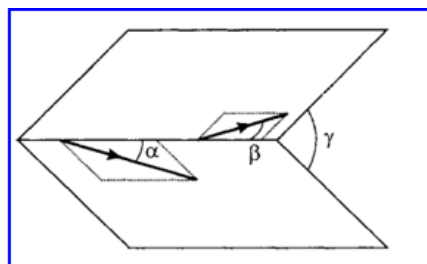
Αν στις αρχές της δεκαετίας του 1820 ο Ampère δεν ήταν στη ζωή, το πιθανότερο θα ήταν αυτός και οι θεωρίες του να είχαν ξεχαστεί. Ήταν 4 Σεπτεμβρίου του 1820, όταν ο Francois Arago (Σ.Σ Dominique-François-Jean Arago, 1786-1853, Γάλλος Φυσικός γνωστός για την αρχή δημιουργίας μαγνητισμού από περιστρεφόμενο μη μαγνητικό αγωγό, την επινόηση πειράματος που αποδεικνυε την κυματική φύση του φωτός και την συμμετοχή του στην έρευνα που οδήγησε στην ανακάλυψη των νόμων της πόλωσης του φωτός) – φίλος του



Ampère και μετέπειτα υμνητής του – παρουσίασε ενώπιον των μελών της γαλλικής «*Académie des Sciences=Ακαδημίας των επιστημών*» την καταπληκτική ανακάλυψη του Ørsted. Ο Ampère όμως ήταν ήδη καλά προετοιμασμένος για ένα νέο κύκλο ερευνών. Μια εβδομάδα αργότερα -11 Σεπτεμβρίου 1820 - ο Arago θα επαναλάβει το πείραμα Oersted στην Ακαδημία. Τις επόμενες εβδομάδες ο Ampère θα παρουσιάσει στην Ακαδημία μια σειρά πειραμάτων που σχετίζονταν με την ανακάλυψη των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων μεταξύ ευθύγραμμων ρευματοφόρων αγωγών και πριν το τέλος του Σεπτεμβρίου θα αναδείξει την αντιστοιχία ανάμεσα στο νόμο που διέπει αυτές τις δυνάμεις και το νόμο του Coulomb για το μαγνητισμό (Σ.Σ Charles-Augustin de Coulomb, 1736-1806 Γάλλος Φυσικός και Μηχανικός του Στρατού, υπηρέτησε στη Μαρτινίκα για 7 χρόνια από όπου επέστρεψε τραυματισμένος σοβαρά, διατύπωσε τον ομώνυμο Νόμο μετά την επιστροφή του στη Γαλλία). Ο Ampère είναι αυτός που θα εισάγει τους όρους *ηλεκτροστατικά* και *ηλεκτροδυναμικά φαινόμενα* προκειμένου να διακρίνει να διακρίνει τις έλξεις και απώσεις μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών με σκοπό να τα διακρίνει από *ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα* που ανακάλυψε ο Ørsted. Τα *ηλεκτροστατικά* αφορούσαν τις έλξεις και απώσεις μεταξύ φορτίων που ήταν ακίνητα το ένα ως προς το άλλο και τα *ηλεκτροδυναμικά* αφορούσαν έλξεις και απώσεις μεταξύ ρευματοφόρων συρμάτων.

Την 6<sup>η</sup> Νοεμβρίου του 1820 σε διάλεξη του στην Ακαδημία θα μιλήσει για την υπέρθεση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων και ένα μήνα αργότερα για την αρχή της συμμετρίας. Σε ιδιαίτερα σύντομο χρονικό διάστημα μετά την παρουσίαση των πειραμάτων του στην Ακαδημία θα δημοσιεύσει την εργασία του στο «*Annales de Chimie et de Physique*». Στην προηγούμενη εικόνα φαίνεται το παλαιότερο χρονικά χειρόγραφο, ο «φάκελλος 158»<sup>(6)</sup> του Ampère όπου μεταξύ άλλων συμπερασμάτων και απόψεων του φαίνεται και η παλαιότερη χρονικά μορφή του νόμου της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης μεταξύ στοιχειωδών ρευματοφόρων αγωγών.

Για την αλγεβρική έκφραση γράφει<sup>(6)</sup> «... με το  $r$  παριστάνεται η απόσταση μεταξύ αυτών (δηλαδή, δύο μικρών τμημάτων των ρευμάτων, με το  $g$  και το  $h$  οι πυκνότητες των ρευμάτων, με τα  $dx$  και  $dy$  τα μήκη τους με  $a$  και  $b$  οι γωνίες που σχηματίζουν με την ευθεία που συνδέει τα κέντρα τους και με  $\gamma$  η γωνία μεταξύ των



επιπέδων που ανήκουν οι αγωγοί, είναι εύκολο μετά τις προηγηθείσες θεωρήσεις να παρατηρήσουμε ότι ένα απειροστό τμήμα ασκεί μια δράση που είναι απαραίτητα ανάλογη του μήκους του- καθώς διαιρώντας το σε τυχαίο αριθμό ίσων τμημάτων, η δράση του είναι

το άθροισμα των δράσεων όλων αυτών των τμημάτων, τα οποία αναγκαία είναι ίσα το ένα προς το άλλο- για να συμπεράνουμε ότι η έκφραση που ζητάμε έχει τη μορφή  $\frac{gh F(a, \beta, \gamma)}{r^2} \dots$ »

Στο σχήμα απεικονίζεται ο σχετικός προσανατολισμός των στοιχείων ρευμάτων. Σε υπόμνημά του στις 9 Οκτωβρίου του 1820 θα γενικεύσει την προηγούμενη σχέση στη μορφή<sup>(7)</sup>

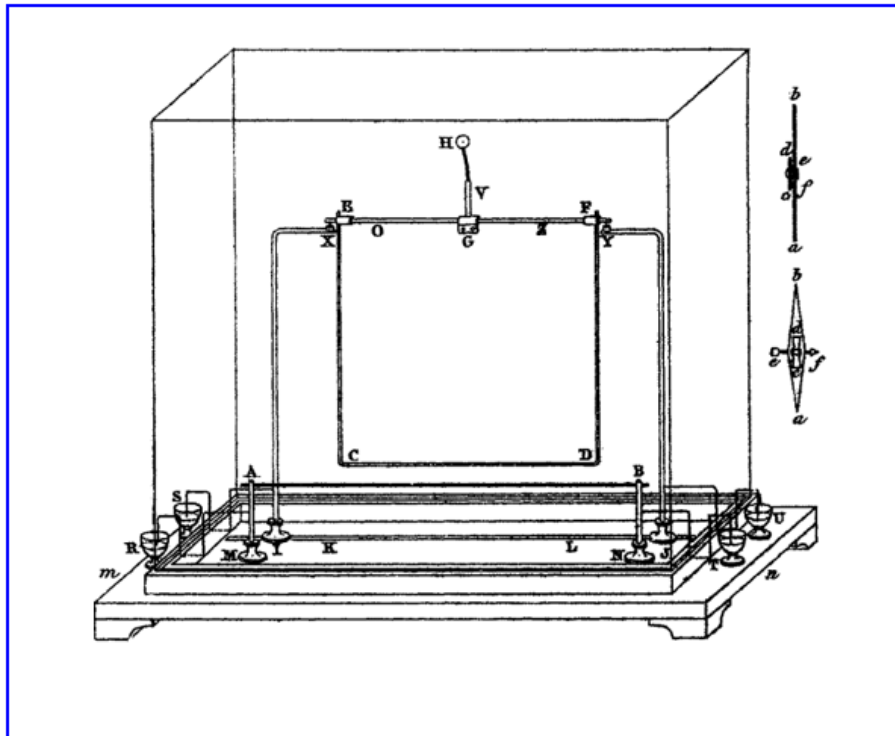
$\frac{gh \text{ συν} \hat{\gamma} \eta \hat{\mu} \hat{\alpha} \eta \hat{\mu} \hat{\beta}}{r^2}$ . Η αναλογία με τις βαρυτικές δυνάμεις επέβαλε η δύναμη αυτή να

εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των στοιχείων ρεύματος, να είναι κεντρική και να αποκλείεται η εμφάνιση στοιχειωδών ροπών. Απλουστευτικά, η ανάγκη να ανακτηθεί η συμπεριφορά των μαγνητών και στα πειράματα με τους ευθύγραμμους αγωγούς, υποδήλωνε τη γωνιακή εξάρτηση. Ο Ampère αργότερα θα εξηγήσει ότι οι δυνάμεις έπρεπε να είναι κεντρικές γιατί διαφορετικά θα μπορούσε να επιτευχθεί μια αέναη κίνηση με άκαμπτη σύνδεση των δύο στοιχείων ρεύματος. <sup>(7)</sup>

Σε αντίθεση με τους Coulomb και Poisson, που θα ακολουθήσουν την κυρίαρχη στους Γάλλους Φυσικούς Laplasian θεώρηση σύμφωνα με την οποία σε κάθε φυσικό φαινόμενο έπρεπε να αναζητείται η αναγωγή του σε κεντρικές δυνάμεις μεταξύ σωματιδίων ζυγίσμων (αισθητών) ή μη ζυγίσμων (μη αισθητών) ρευστών (Σ.Σ όπως τα πρωτόλεια phlogiston=φλογιστόν και caloric=θερμιούχο) σε αναλογία με τη βαρυτική θεωρία, ο Ampère θα επιλέξει για τον Μαγνητισμό μια θεωρία που ταίριαζε με την πρώιμη φιλοσοφία του για τον Ηλεκτρισμό και τον Μαγνητισμό σε κάποιες προσπάθειες του που δεν είχαν δει το φως της δημοσιότητας. Πίστευε ότι σε μια θεωρία βασισμένη σε κάποιου είδους ρευστά έλλειπε η ενότητα που θα έπρεπε να υπάρχει στα σχέδια του Θεού για το σύμπαν. Γι' αυτόν έπρεπε να υπάρχει μια μόνο θεμελιώδης δύναμη, κατά προτίμηση μια εξαιρουμένης της δράσης από απόσταση. Η σκέψη του για τη φύση του μαγνήτη ήταν το πρώτο βήμα για την κατάργηση της άποψης περί μαγνητικών υγρών. <sup>(7)</sup>

Αξίζει να αναφερθεί ότι σημαντικό ρόλο στην έκδοση των εργασιών του Ampère στον ηλεκτρομαγνητισμό έπαιξε ο Félix Savary <sup>(2)</sup> ( Σ.Σ Félix Savary 1797-1841 Γάλλος Αστρονόμος και Γεωδαιτής σπουδαστής στην «*École Polytechnique*» τελείωσε τις σπουδές του το 1815 και επέστρεψε ως καθηγητής Αστρονομίας και Γεωδαισίας σ' αυτήν το 1831 και το 1832 θα εκλεγεί στην *Académie des Sciences*). Η βοήθειά του υπήρξε πολύτιμη για τον Ampère, εκτός από τα απομνημονεύματά του που εξέδωσε το 1823 με τίτλο «*Mémoire sur l'application du calcul aux phénomènes électro-dynamique* = Απομνημονεύματά της εφαρμογής του Λογισμού σε φαινόμενα ηλεκτροδυναμικής», η συνεισφορά του ήταν

καθοριστική διότι περισσότερο από την δημιουργικότητά του, ήταν η πειθαρχία του και η ικανότητα του να συγκεντρώνεται επί μακρόν σε συγκεκριμένα προβλήματα που αποδείχθηκαν ανεκτίμητα για τον Ampère. Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι χωρίς τη βοήθεια του Savary, ο Ampère δε θα έβρισκε ποτέ τον χρόνο για να ολοκληρώσει τους υπολογισμούς που απαιτούνταν για την εφαρμογή του Νόμου της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης σε μαγνητικά φαινόμενα. (2)



Διάταξη για την επίδειξη της δράσης μεταξύ ευθύγραμμων στοιχείων ρευμάτων από τον Ampère

Ο Ampère το 1820, όταν άρχισε να εργάζεται σ' αυτό το αντικείμενο, ήταν ήδη 45 ετών. Μετά από εργασίες έξι ετών συνειδητοποίησε ότι είχε επιτύχει του στόχους που είχε φανταστεί, όταν άκουσε για πρώτη φορά για το πείραμα του Ørsted. Δημιούργησε έναν καινούριο κλάδο της Φυσικής, την Ηλεκτροδυναμική, που θα πραγματευόταν με δυνάμεις και ροπές μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών. Είχε κατανοήσει τα κύρια φαινόμενα σ' αυτήν την περιοχή γνώσης, συγκεκριμένα, τις δυνάμεις μεταξύ παράλληλων ρευματοφόρων αγωγών, δυνάμεις μεταξύ ρευματοφόρων επίπεδων σπειρών, ροπές μεταξύ ενός ευθύγραμμου αγωγού κι μιας έλικας, δύναμη που ασκείται από ένα κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος σε στοιχειώδες ρευματοφόρο τμήμα άλλου κυκλώματος. Ακόμη περισσότερο κατείχε την αλγεβρική έκφραση της δύναμης μεταξύ στοιχειωδών ρευμάτων και με αυτή, όχι μόνο

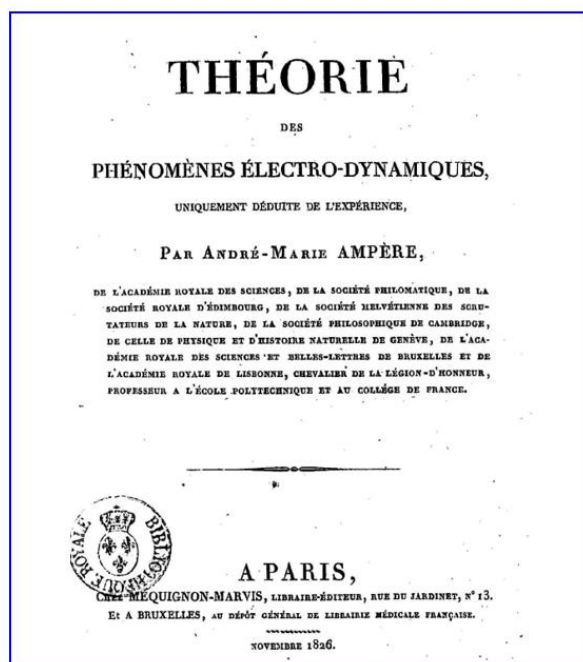
μπορούσε να εξηγήσει τα φαινόμενα, αλλά και να προβλέψει νέα γεγονότα που επαληθεύτηκαν πειραματικά αργότερα. <sup>(6)</sup>

Επιπροσθέτως, παρουσίασε μια νέα σύλληψη του Μαγνητισμού. Δεν θα ήταν πλέον αναγκαία η ύπαρξη Βόρειων και Νότιων ρευστών ή Βόρειων και Νότιων πόλων, αντί αυτών θεμελίωσε την ύπαρξη μικροσκοπικών ηλεκτρικών ρευμάτων στα μόρια των μαγνητικών ουσιών. Έδειξε ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο απλών σωληνοειδών απείρου μήκους είναι ηλεκτροδυναμικά ανάλογη με τη δύναμη του Coulomb μεταξύ μαγνητικών πόλων. Απόδειξε ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο μαγνητικών διπόλων είναι ισοδύναμη με την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωληνοειδών πεπερασμένου μήκους που διαρρέονται από σταθερά ρεύματα. Συμπερασματικά, ενοποίησε τρεις διαφορετικούς κλάδους της Φυσικής:

τον Μαγνητισμό, δηλαδή αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαγνητών ή μαγνητών και Γης, τον Ηλεκτρομαγνητισμό, δηλαδή αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός μαγνήτη και ενός ρευματοφόρου αγωγού ή της Γης μ' ένα ρευματοφόρο αγωγό,

την Ηλεκτροδυναμική, δηλαδή την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ρευματοφόρων αγωγών. Σύμφωνα με τον Ampère, όλα τα φαινόμενα των τριών αυτών κλάδων οφείλονται σε δυνάμεις και ροπές μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών και η θεωρητική τους εξήγηση έγινε με τη χρήση ολοκλήρωσης του νόμου του για τη δύναμη μεταξύ στοιχειωδών ρευμάτων. <sup>(6)</sup>

Όλα αυτά θα συμπεριληφθούν στο «Magnum opus» του, ένα αριστούργημα που εκδόθηκε το 1826 και το 1827 με τίτλους «*Mémoire sur la théorie des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience = Διατριβή για τη θεωρία των ηλεκτροδυναμικών φαινομένων που συμπεράθηκε μόνο από την εμπειρία*» και «*Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience = Διατριβή για τη μαθηματική θεωρία των ηλεκτροδυναμικών φαινομένων που συμπεράθηκε μόνο από την εμπειρία*» αντίστοιχα.



Η μια εκδοχή του βιβλίου «*Théorie*» εκδόθηκε ως μονογραφία το Νοέμβριο του 1826. Και η άλλη εκδόθηκε στον τόμο 6 των «*Memoires de l'Academie Royale des Sciences= Απομνημονεύματα της Βασιλικής Ακαδημίας των επιστημών*» που αντιστοιχεί στο έτος

1823. Παρά την ημερομηνία έκδοσης, οι ερευνητές της Ιστορίας των Επιστημών συμπέραναν ότι η μεταγενέστερη έκδοση είναι αυτή του 1826. <sup>(6)</sup> Από τον τίτλο της έκδοσης του 1826 λείπει η λέξη the «*mathematique*», το γεγονός αυτό πιθανώς επιβεβαιώνει ότι παρά τη χρονική ανακολουθία, η έκδοση του 1826 είναι η τελική καθώς εικάζεται ότι ο Ampère συνειδητοποίησε ότι στη Φυσική συνήθως αντιλαμβανόμαστε τη θεωρία ως σύνολο φαινομένων, όπως και στα Μαθηματικά. Επομένως η λέξη «μαθηματική» κανονικά υπονοείται στην έννοια της θεωρίας στη Φυσική, έτσι, αποφάσισε να αποσύρει τη λέξη από τον τίτλο, καθώς τη θεώρησε ως μη αναγκαία.

Αυτός που αργότερα θα έπαιρνε τη σκυτάλη (Σ.Σ James Clerk Maxwell, 1831-1879, Σκωτσέζος θεωρητικός Φυσικός, κορυφαία επιστημονική προσωπικότητα του 19<sup>ου</sup> αιώνα) το 1871 γράφει σε σχέση με τη «*Théorie*» :

*«Δύσκολα μπορούμε να πιστέψουμε ότι ο Ampère ανακάλυψε πραγματικά το Νόμο μέσω των πειραμάτων τα οποία περιγράφει. Οδηγούμαστε στο να υποπτευθούμε ότι πράγματι, όπως ο ίδιος μας λέει, ανακάλυψε τον Νόμο με κάποια διαδικασία την οποία δεν μας έδειξε, και ότι αφού είχε κτίσει μια τέλεια επίδειξη, απομάκρυνε όλα τα ίχνη της σκαλωσιάς με την οποία την είχε ανεγείρει».* <sup>(2)</sup>

Ο ίδιος είναι που θα αποκαλέσει τον Ampère «Newton του Ηλεκτρισμού».

Παρόλα αυτά, ο Ørsted δεν θα αποδεχθεί ποτέ πλήρως τις απόψεις του Ampère για τα ηλεκτρομαγνητικά (ηλεκτροδυναμικά) φαινόμενα. Ακόμη και το 1830 εκτέλεσε πείραμα για το οποίο πίστευε ότι απέρριπτε τη θεώρηση του Ampère. Η κριτική του συνοψίζεται στις επόμενες θέσεις:

1. την περιπλοκή των Μαθηματικών στη θεωρία του Ampère,
2. στην υπόθεση της απ' ευθείας αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο ρευματοφόρων αγωγών, χωρίς τη διαμεσολάβηση της ροής των φορτίων που κυκλοφορούν γύρω από το σύρμα,
3. την υπόθεση της ύπαρξης μικροσκοπικών ρευμάτων στο εσωτερικό ενός μαγνήτη καθώς η άποψή του Ørsted ήταν ότι ο Μαγνητισμός οφείλεται σε πραγματικά μαγνητικά σωματίδια που είναι κατανεμημένα στο εσωτερικό ενός μαγνήτη και της Γης.

Όμως θα γράψει «...και αν υιοθετήσω μια θεωρία διαφορετική από τη δική του ( Σ.Σ του Ampère), δεν θα πάψω ποτέ να αναγνωρίζω την αξία των εργασιών του». <sup>(6)</sup>

Κριτική στις απόψεις του Ampère θα ασκούσε και «η άλλη πλευρά». Οι Biot και Savart δεν θα αποδεχθούν ποτέ την ερμηνεία του Ampère για το πείραμα του Ørsted. Κατ' αυτούς το σύρμα μαγνητιζόταν από το ρεύμα που έρρεε μέσα σ' αυτό. Μετά αναπτυσσόταν μια αλληλεπίδραση μεταξύ των μαγνητικών πόλων του σύρματος και των μαγνητικών πόλων της μαγνητικής βελόνας. Στην εργασία τους «*Σημείωση για το μαγνητισμό της μπαταρίας του*

Volta» το 1821 γράφουν:

«με αυτές τις διαδικασίες οι κ.κ Biot και Savart κατέληξαν στο ακόλουθο αποτέλεσμα το οποίο αντιπροσωπεύει αυστηρά τη δράση που υφίσταται ένα μόριο Βόρειο Μαγνητισμού, όταν τοποθετείται σε κάποια απόσταση από ένα λεπτό σύρμα μεγάλου (αόριστου) μήκους το οποίο γίνεται μαγνήτης από το βολταϊκό ρεύμα. Σχεδιάζοντας την κάθετη από το σημείο όπου βρίσκεται το μαγνητικό μόριο στον άξονα του σύρματος, η δύναμη που επιδρά στο μόριο είναι κάθετη σ' αυτή τη γραμμή και τον άξονα του σύρματος».

Τα κύρια σημεία της κριτικής τους συνοψίζονται στην 3<sup>η</sup> έκδοση του βιβλίου του Biot με τίτλο «*Precis elementaire de Physique experimental = Στοιχειώδης περίληψη της Φυσικής Πειραματικής*» το 1824: <sup>(6)</sup>

1. Σύμφωνα με τους Biot και Savart η αλληλεπίδραση μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών ήταν δευτερεύον φαινόμενο που προκαλούνταν από κάτι πιο βασικό, συγκεκριμένα τον Μαγνητισμό των συρμάτων από τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά συνέπεια, η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ρευματοφόρων συρμάτων θα οφείλονταν στους υποθετικούς μαγνητικούς πόλους που αναπτύσσονται γύρω από την εγκάρσια διατομή του πρώτου σύρματος οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τους μαγνητικούς πόλους που αναπτύσσονται γύρω από την εγκάρσια διατομή του δεύτερου σύρματος. Κατά τους Biot και Savart η θεμελιώδης αλληλεπίδραση λαμβάνει χώρα μεταξύ των Βόρειων και Νότιων υγρών (πόλων) που ανήκουν στο πρώτο σύρμα και αλληλεπιδρούν με τα αντίστοιχα υγρά (πόλους) του δεύτερου σύρματος. Από την άλλη μεριά, κατά τον Ampère η θεμελιώδης αλληλεπίδραση ελάμβανε χώρα μεταξύ των στοιχειωδών ρευμάτων.

2. Οι Biot και Savart απέρριψαν, όχι μόνο της αντίληψη του Ampère για μια δύναμη μεταξύ στοιχειωδών ρευμάτων, αλλά την πιο βασική υπόθεσή του για την ύπαρξη στοιχειωδών ρευμάτων τα οποία είναι χωρικά προσανατολισμένα. Σύμφωνα με αυτούς δεν υπήρχε τίποτα παρόμοιο με αυτή την υπόθεση στις γνωστές αλληλεπιδράσεις (βαρυτικές, ηλεκτροστατικές, και μαγνητοστατικές). Αυτές οι τρεις αλληλεπιδράσεις ήταν κεντρικές, δρούσαν μεταξύ σημειακών αντικειμένων και εξαρτιόνταν από την απόσταση μεταξύ των αλληλεπιδρώντων σωματιδίων.

3. Οι ίδιοι θεωρούσαν ότι η υπόθεση του Ampère για μοριακά ρεύματα ήταν μια μη αναγκαία περιπλοκή.

Ο Ampère δεν ήταν όμως ο μοναδικός που θα αντιδρούσε γρήγορα στις ανακοινώσεις του Arago για τα πειράματα του Ørsted, υπήρχε και «η άλλη πλευρά».

Ο Biot (**Σ.Σ** Jean Baptiste Biot, 1794-1862, Γάλλος Μαθηματικός που ασχολήθηκε με την Αστρονομία, Την Ελαστικότητα, τον Ηλεκτρισμό, τον Μαγνητισμό, την Θερμότητα, την



Οπτική και τη Γεωμετρία) και ο βοηθός του Savart (Σ.Σ Félix Savart 1841, Γάλλος Μαθηματικός που ασχολήθηκε με τον Ηλεκτρισμό και τον Μαγνητισμό) με μεγάλη ταχύτητα θα εκτελέσουν πειράματα και θα ανακοινώσουν τα αποτελέσματά τους στην Ακαδημία αρχικά στις 30 Οκτωβρίου 1820 διατυπώνοντας τον ομώνυμο νόμο των Biot και Savart.



Jean-Baptist Biot



Félix Savart

Θα χρησιμοποιήσουν μια μαγνητική βελόνα που μπορούσε να αιωρείται σε οριζόντιο επίπεδο δεμένη σε κατακόρυφο νήμα που βρισκόταν μόνο υπό την επίδραση της δύναμης από ένα μακρύ κατακόρυφο σύρμα. Εξουδετέρωσαν την επίδραση του γήινου μαγνητικού πεδίου με έναν βοηθητικό μαγνήτη και συμπέραναν ότι μαγνητική βελόνα ισορροπούσε, όταν ο άξονας Βορράς - Νότος γινόταν ορθογώνιος με την ελάχιστη απόσταση του κέντρου της βελόνας από το σύρμα και ορθογώνια με τη διεύθυνση του σύρματος. Μέτρησαν επίσης την περίοδο των μικρών ταλαντώσεων που έκανε η βελόνα, όταν προκαλούσαν μικρές αποκλίσεις από τη θέση ισορροπίας, σε διαφορετικές αποστάσεις από το σύρμα. Συμπέραναν ότι το μέτρο της της υποτιθέμενης δύναμης που δρούσε σε κάθε μαγνητικό πόλο της βελόνας ήταν αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης του πόλου από το σύρμα.

Γι' αυτό το παγκόσμιο αποτέλεσμα είπαν<sup>(6)</sup> ότι ο Laplace «μαθηματικά συμπέρανε» ότι η δύναμη που ασκούσε το κάθε στοιχειώδες τμήμα του ρευματοφόρου σύρματος στον μαγνητικό πόλο ήταν αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης του πόλου και του σύρματος. Πως όμως μπορούσε κάποιος να συμπεράνει για τη δύναμη από ένα στοιχειώδες ρευματοφόρο τμήμα του σύρματος με βάση τη δύναμη που υπολόγιζε ως «αποτέλεσμα ολοκλήρωσης» από έναν αγωγό πεπερασμένου μήκους; Γιατί ο Laplace δεν δημοσίευσε ποτέ το συμπέρασμά του;

Στις 18 Δεκεμβρίου 1820 οι Biot και Savart θα επαναλάβουν τα πειράματά τους στην Ακαδημία με λυγισμένο σύρμα και θα υποστηρίξουν με το ίδιο τρόπο τα συμπεράσματά τους, χωρίς να παρουσιάσουν τους αναλυτικούς υπολογισμούς που θα εξηγούσαν πως από τον υπολογισμό της δύναμης που προέκυψε από «ολοκλήρωση» αγωγού πεπερασμένου μήκους έφθασαν στον υπολογισμό της δύναμης από στοιχειώδες τμήμα του ρευματοφόρου σύρματος, ενώ είχαν κάνει και λάθος στους αριθμητικούς τους υπολογισμούς.

Η κριτική από την πλευρά των Ampère και Savary περιγράφει πολύ χαρακτηριστικά το κλίμα επιστημονικού ανταγωνισμού της εποχής. Το 1823 ο Savary με τους θεωρητικούς του

υπολογισμούς διορθώνει το λάθος των Biot–Savart στην περίπτωση του λυγισμένου σύρματος και αυτοί το 1824 σε νέα έκδοση των αποτελεσμάτων τους θα παραδεχθούν τον λανθασμένο υπολογισμό του 1820. Δεν θα αποφύγουν όμως την κριτική του Ampère ο οποίος στη «Θεωρία» του το 1826 αναφέρει την συμφωνία των αποτελεσμάτων των πειραμάτων τους με τους θεωρητικούς υπολογισμούς του Savary και με ευδιάκριτα ειρωνικό τρόπο γράφει<sup>(6)</sup>

«...(αυτός ο υπολογισμός) θα μπορούσε να έχει ως στόχο να υπολογίσει την τιμή ενός διαφορικού τμήματος από την τιμή του ορισμένου ολοκληρώματος που περιέχεται μεταξύ δεδομένων ορίων, αλλά αυτό δεν μου φαίνεται ότι επί του παρόντος κάποιος Μαθηματικός μπορεί να θεωρήσει ότι μπορεί να γίνει...» και αλλού<sup>(6)</sup> σε σχέση με τον λανθασμένο υπολογισμό στο λυγισμένο σύρμα « Είναι πολύ αξιοσημείωτο ότι αυτός ο νόμος ... αρχικά περιείχε ένα λάθος υπολογισμού».

Η κριτική του Ampère στις υποθέσεις των Biot και Savart υπήρξε «κατά μέτωπον» και μπορεί να συνοψισθεί στα επόμενα<sup>(6)</sup>:

1. Ο Ampère ήταν αντίθετος με την υπόθεση των Biot και Savart για την ύπαρξη Βόρειων και Νότιων υγρών (πόλων).

2. Για τον Ampère το πρωταρχικό γεγονός που καθιστούσε δυνατή την εξήγηση των παρατηρούμενων φαινομένων, ήταν η αλληλεπίδραση μεταξύ των τα ρευματοφόρων στοιχείων, αντίθετα, οι Biot και Savart υποστήριζαν ως πρωταρχικό γεγονός την αλληλεπίδραση ενός ρευματοφόρου σύρματος με ένα μαγνήτη.

3. Σύμφωνα με τον Ampère η εξήγηση των Biot και Savart για το πείραμα Ørsted που βασιζόταν στη μαγνήτιση του σύρματος από τη διέλευση του ρεύματος οδηγούσε σε αντιφάσεις σε σχέση με τα παρατηρούμενα φαινόμενα και επιπλέον δεν εξηγούσε ούτε ποιοτικά ούτε ποσοτικά την αλληλεπίδραση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών.

4. Η υπόθεσή τους περί μαγνήτισης ήταν αντίθετη με τα φαινόμενα συνεχούς περιστροφής που παρατηρήθηκαν στα πειράματα των Faraday και Ampère.

5. Για τον Ampère η πρότασή τους για μια δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ ενός στοιχειώδους ρεύματος και ενός μαγνητικού πόλου οδηγούσε σ' ένα πρωταρχικό ζεύγος το οποίο παραβίαζε την αυστηρή μορφή του 3<sup>ου</sup> Νόμου του Newton αν και ικανοποιούσε την αρχή της δράσης – αντίδρασης. Η δράση – αντίδραση των Biot και Savart δημιουργούσε ένα πρωταρχικό ζεύγος σ' ένα σύστημα που συνέθεταν ένας ρευματοφόρος αγωγός και ένας μαγνήτης αντίθετα, η δύναμη του Ampère μεταξύ στοιχειωδών ρευμάτων ήταν κεντρική και πάντα σε συμφωνία με την αυστηρή μορφή του 3<sup>ου</sup> Νόμου του Newton.

6. Ο Ampère έδειξε ότι η θεμελιακή υπόθεση των Biot και Savart περί αλληλεπίδρασης μεταξύ

μαγνητικών πόλων για την εξήγηση του πειράματος Ørsted, δεν οδηγούσε στην ενοποίηση των μαγνητικών, ηλεκτρομαγνητικών και ηλεκτροδυναμικών φαινομένων.

Σε μια εποχή που ο επιστημονικός ανταγωνισμός μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας ήταν στην κορύφωσή του, δύσκολα θα έμενε αμέτοχη η πέραν της Μάγχης πλευρά. Ένα ακόμη δίπολο επιστημονικής αντιπαράθεσης έμελλε να υπάρξει.

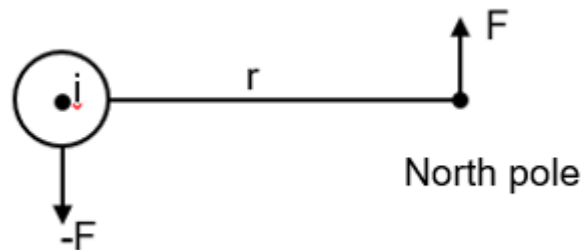
Οι κύριες έρευνες του M. Faraday (Σ.Σ Michael Faraday, 1791-1867, Άγγλος κορυφαίος Φυσικός του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η συνεισφορά του στην ανάπτυξη του ηλεκτρομαγνητισμού υπήρξε τεράστια) στο πεδίο του ηλεκτρομαγνητισμού άρχισαν μετά την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων του πειράματος Ørsted στις 21 Ιουλίου του 1820. Αρχικά ασχολήθηκε με την αναπαραγωγή των πειραμάτων των Ørsted και Ampère και στη συνέχεια άρχισε τις δικές του έρευνες. Μεταξύ 1821 και 1822 θα δημοσιεύσει ανώνυμα μια εργασία, σε τρία μέρη, τη συγγραφή της οποίας θα αποδεχθεί αργότερα.



Michael Faraday

Το Σεπτέμβριο του 1821 ο Faraday εκτέλεσε μια σειρά πειραμάτων αναλύοντας τη ροπή που ασκούσε σε μια οριζόντια μαγνητική βελόνα ένας κατακόρυφος ρευματοφόρο σύρμα που βρισκόταν κοντά σ' αυτή και διαρρεόταν από σταθερό ρεύμα. Ερμήνευσε τις παρατηρήσεις του με βάση τις δυνάμεις που δέχονταν οι μαγνητικοί πόλοι της βελόνας από το ρευματοφόρο σύρμα και συμπέρανε ότι οι μαγνητικοί πόλοι δεν βρίσκονταν στα άκρα της βελόνας, και το πιο σημαντικό, ότι η δύναμη από το ρευματοφόρο σύρμα στο μαγνητικό πόλο δεν κατευθυνόταν προς το σύρμα, αλλά ήταν ορθογώνια προς το σύρμα και την ευθεία γραμμή που συνδέει τον πόλο με το σύρμα. Αυτές οι δυνάμεις που μπορούσαν να προκαλέσουν την περιστροφή των πόλων γύρω από το σύρμα, δεν ήταν ούτε ελκτικές ούτε απωστικές, και παρότι ο Faraday δεν παρατήρησε περιστροφή του σύρματος γύρω από τον πόλο πίστευε ότι ο πόλος ασκούσε στο σύρμα αντίθετες δυνάμεις. Πιθανώς σκεφτόταν με όρους που επέβαλλε ο 3<sup>ος</sup> Νόμος του Newton. Επίσης παρατήρησε ότι όταν αντιστρεφόταν η φορά του ρεύματος ή άλλαζε το είδος του μαγνητικού πόλου, αντιστρεφόταν και η φορά της δύναμης. Όταν αντιστρεφόταν ταυτόχρονα η φορά του ρεύματος και άλλαζε το είδος του πόλου η δύναμη διατηρούσε την κατεύθυνσή της

Στο σχήμα φαίνονται ένας αγωγός κάθετος στη σελίδα που διαρρέεται από ρεύμα που κατευθύνεται έξω από τη σελίδα και ένας Βόρειος μαγνητικός πόλος.



Τα βέλη δείχνουν τις δυνάμεις που ασκούν ο Βόρειος πόλος στο ρευματοφόρο αγωγό και ο ρευματοφόρος αγωγός στο Βόρειο πόλο σύμφωνα με τη σύλληψη του Faraday.

Τον ίδιο μήνα ο Faraday θα επιτύχει τη συνεχή περιστροφή ενός σύρματος γύρω από ένα μαγνήτη και του άκρου ενός μαγνήτη γύρω από ένα σύρμα.

Ο Ampère από τον Ιανουάριο μέχρι το Σεπτέμβριο του 1821 είχε εγκαταλείψει τις περισσότερες από τις έρευνές του στην Ηλεκτροδυναμική. Η εργασία του Faraday για τη συνεχή περιστροφή ήταν το κίνητρο για να τις επαναλάβει. Αναγνώρισε τη σπουδαιότητα που είχε η εργασία του σε σχέση με τα δικά του ενδιαφέροντα, αλλά έδωσε μεγάλη έμφαση στο γεγονός ότι ο Faraday είχε διαφορετική σύλληψη για την ερμηνεία αυτών των πειραμάτων σε σχέση με τη δική του

Σε επιστολή του που απευθύνει στις 3 Δεκεμβρίου 1821 προς τον Claude-Julien Bredin ( [Σ.Σ](#) Claude-Julien Bredin, 1776-1854, Γάλλος καθηγητής της Ανατομίας στην Κτηνιατρική σχολή στη Λυών, ίδρυσε το 1804 μαζί με τον Ampère την ομάδα ένθερμων θεοσοφιστών με τίτλο «Χριστιανική Κοινωνία») γράφει<sup>(6)</sup>:

«Όταν έφθασα εδώ ([Σ.Σ](#) στο Παρίσι) οι σκέψεις ήταν στη Μεταφυσική, όμως μετά την εργασία του Faraday, το μόνο που σκεφτόμουν ήταν τα ηλεκτρικά ρεύματα. Αυτή η διατριβή περιέχει πολύ απλά ηλεκτρομαγνητικά γεγονότα τα οποία επιβεβαιώνουν πλήρως την θεωρία μου, αν και ο συγγραφέας την αντιμάχεται προσπαθώντας να την αντικαταστήσει με μία δικής του δημιουργίας».

Οι ενστάσεις του Faraday σε σχέση με τις αντιλήψεις και ερμηνείες του Ampère θα μπορούσαν να συνοψισθούν στα επόμενα<sup>(6)</sup>:

1. Ο Faraday ήταν επιφυλακτικός με την ιδέα ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων.
2. Ο Faraday αμφέβαλε για την αντίληψη περί μαγνητισμού που είχε ο Ampère σύμφωνα με

την οποία οι μαγνητικές ιδιότητες της Γης και των μαγνητών οφείλονταν σε ρεύματα που έρρεαν μέσα στη Γη και τους μαγνήτες.

3. Σύμφωνα με τον Faraday ως βασικότερες περιπτώσεις κίνησης έπρεπε να θεωρηθούν η περιστροφή του μαγνητικού πόλου γύρω από το σύρμα και του σύρματος γύρω από τον πόλο. Ο ίδιος πίστευε ότι η έλξη ή η άπωση μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών ήταν ένα σύνθετο φαινόμενο που έπρεπε να ερμηνευθεί με όρους απλούστερων σχηματισμών που δεν θα ενέπλεκαν την «απ' ευθείας» αλληλεπίδραση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών.

Στα ιστορικά σκαριφήματά του 1821-1822 παραμένει σκεπτικός σε σχέση με την παραδοχή ότι το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται σε ροή ηλεκτρικών φορτίων.

Μόνο μετά από την ανακάλυψη του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής το 1831 θα αρχίσει να διάκειται θετικά προς τη θεωρία περί μαγνητισμού του Ampère. Στο μνημειώδες «*Experimental Researches in Electricity*» όπου περιγράφεται η επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων, όταν στους πόλους μαγνητών πλησιάζουν σπείρες ή σύρματα ή πλησιάζουν μαγνήτες προς σπείρες και σύρματα, τα οποία είναι ακριβώς όμοια με τα βολταϊκά ρεύματα και προκαλούν απόκλιση στο γαλβανόμετρο, θα γράψει<sup>(6)</sup>:

*«Η ομοιότητα της δράσης, που πλησιάζει σχεδόν την ταυτότητα, μεταξύ κοινών μαγνητών και ηλεκτρο-μαγνητικών ή βολτα- ηλεκτρικών ρευμάτων είναι σε αυστηρή συμφωνία και επιβεβαιώνουν τη θεωρία του κ. Ampère και δημιουργούν ισχυρούς λόγους να πιστεύουμε ότι η δράση είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, αλλά, καθώς μια γλωσσική διάκριση είναι ακόμη αναγκαία, προτείνω να ονομάσουμε αυτή που ασκείται από συνηθισμένους μαγνήτες, μαγνητοηλεκτρική ή μαγνητική επαγωγή.»*

Και ο αντίλογος που συνοψίζει την κριτική του Ampère στις απόψεις του Faraday<sup>(6)</sup>:

1. Ο Ampère ήταν αντίθετος με την άποψη του Faraday για την ύπαρξη μαγνητικών πόλων.
2. Ο Faraday υποστήριζε ως θεμελιώδη τη στροφική κίνηση, ενώ ο Ampère ήταν εντελώς αντίθετος με την άποψη αυτή.
3. Ο Ampère ήταν πάντα υπέρμαχος της άποψης ότι η αρχική, θεμελιώδης, δράση πρέπει να αναπτύσσεται μεταξύ μεγεθών του ίδιου τύπου. Αντίθετα ο Faraday θεωρούσε ότι η απλούστερη εκδοχή δράσης μιας δύναμης είναι αυτή μεταξύ ρευματοφόρου σύρματος και μαγνητικού πόλου.
4. Ο Ampère ποτέ δεν αποδέχθηκε την ερμηνεία του Faraday για τις έλξεις και απώσεις μεταξύ ρευματοφόρων αγωγών, ένα φαινόμενο που πρώτος αυτός παρατήρησε.
5. Ο Ampère απέδειξε πειραματικά ότι ο Faraday έκανε λάθος όταν πίστευε ότι δεν μπορεί να παραχθεί περιστροφική κίνηση ενός μαγνήτη γύρω από τον άξονα συμμετρίας του με τη χρήση μόνον ηλεκτρικών ρευμάτων.

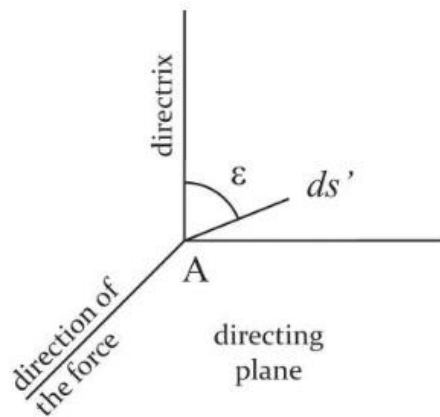
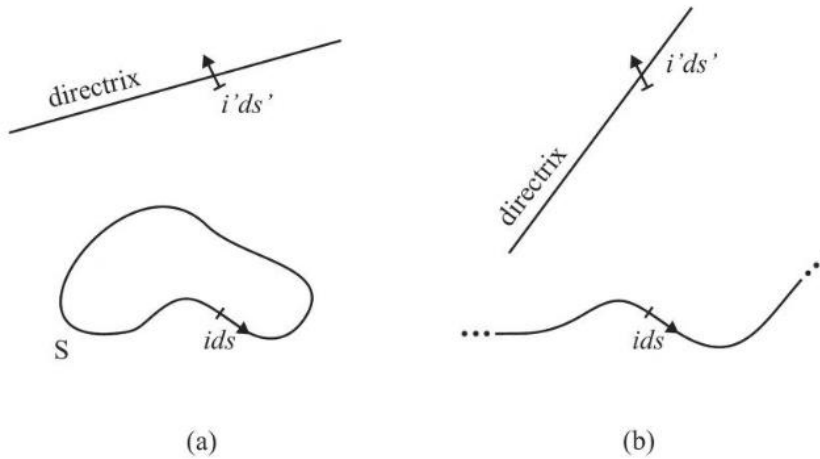
6.Ο Faraday, όταν έμαθε για την πειραματική επίδειξη περιστροφής μαγνήτη γύρω από τον άξονα συμμετρίας του από τον Ampère, έδωσε την εξήγηση ότι οφείλεται σε μια υποθετική ροπή που ασκείται από τον μαγνητικό πόλο του μαγνήτη καθώς αυτός επιδρά στα ηλεκτρικά ρεύματα που ρέουν στο εσωτερικό του μαγνήτη. Η εξήγηση απορρίφθηκε από τον Ampère καθώς παραβίαζε τον 3<sup>ο</sup> Νόμο του Newton.

### **Τα τελευταία χρόνια, η Μεταφυσική, ο Ρομαντισμός, τα χωρίς τέλος οικογενειακά προβλήματα.**

Ο Ampère θα συνεχίσει τις έρευνες του στο πεδίο της ηλεκτροδυναμικής μέχρι το 1826. Στις 10 Ιουνίου 1822 θα παρουσιάσει στην Ακαδημία την τελική έκφραση της δύναμης που ασκείται μεταξύ στοιχειωδών ρευμάτων.

Θα παρουσιάσει στην «Ακαδημία των Επιστημών» στο Παρίσι στις 22 και 29 Δεκεμβρίου του 1823 και στις 5 Ιανουαρίου του 1824 τα αποτελέσματα της επέκτασης των ερευνών του σε σχέση με τη δύναμη που ασκεί ένα ρευματοφόρο κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος σ' ένα στοιχειώδες ρεύμα. Τα πειράματα θα επιβεβαιώναν τους υπολογισμούς που είχε κάνει ο Savary. Θα υπολογίσει τη δύναμη που ασκείται σ' ένα στοιχειώδη ρευματοφόρο αγωγό  $ids'$  από «ένα τυχαίο σύστημα ρευμάτων που σχηματίζουν κλειστά κυκλώματα ή εκτείνονται απεριόριστα και προς τις δύο κατευθύνσεις». Θα υπολογίσει τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο ρευματοφόρο στοιχείο  $ids'$  που δεν ανήκει στο κύκλωμα  $S$  της επόμενης εικόνας. Για μια ακόμη φορά θα καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η συνισταμένη δύναμη είναι πάντα ορθογώνια προς το στοιχείο  $ids'$  και ακόμη περισσότερο ότι ανήκει σ' ένα συγκεκριμένο επίπεδο το οποίο θα ονομάσει «κατευθυντήριο επίπεδο». <sup>(6)</sup> Την ευθεία γραμμή που είναι ορθογώνια προς το «κατευθυντήριο επίπεδο=*directing plane*» και διέρχεται από το μέσο του στοιχειώδους ρευματοφόρου αγωγού  $ids'$  θα την ονομάσει αρχικά «κάθετη στο κατευθυντήριο επίπεδο», αλλά στη «*Théorie*» θα την ονομάσει «διευθετούσα=*directrix*».

Στην εικόνα: <sup>(6)</sup> (a) η διευθετούσα σ' ένα κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος διέρχεται από το μέσο του  $ids'$  που βρίσκεται σ' ένα τυχαίο σημείο του χώρου, (b) η διευθετούσα σ' ένα κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος που εκτείνεται απεριόριστα και ως προς τις δύο διευθύνσεις διέρχεται από το μέσο του  $ids'$ .



Στην εικόνα (6) φαίνονται η διευθετούσα=directrix, το κατευθυντήριο επίπεδο=directing plane, η διεύθυνση της δύναμης και η γωνία  $\epsilon$  μεταξύ του στοιχειώδους αγωγού  $ds'$  και της διευθετούσας. (Σ.Σ ο σύγχρονος αναγνώστης ήδη έχει συμπεράνει τη συσχέτιση της διευθετούσας με αυτό που αργότερα θα ονομάζονταν ένταση του μαγνητικού πεδίου).

Το διάνυσμα της διευθετούσας( directrix vector) θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\vec{D} = \oint_S \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

όπου  $r$ = η απόσταση μεταξύ  $ds$  και  $ds'$  και  $\vec{r}$  =το διάνυσμα που κατευθύνεται από το στοιχειώδη αγωγό  $ids$  προς το στοιχειώδη αγωγό  $i'ds'$ . Το διάνυσμα  $\vec{D}$  δεν εξαρτάται από τις εντάσεις των ρευμάτων  $i$  και  $i'$ , δεν εξαρτάται από την διεύθυνση του στοιχειώδους ρευματοφόρου αγωγού  $i'ds'$  στο οποίο ασκείται η δύναμη από το κλειστό κύκλωμα  $S$ , εξαρτάται μόνον από το μέγεθος και το σχήμα του κυκλώματος  $S$  και σε κάθε σημείο του χώρου ταυτίζεται με τη διεύθυνση της διευθετούσας. Αν για λόγους αντιστοίχισης με το

σύγχρονο τρόπο γραφής των σχέσεων στο S.I αντικαταστήσουμε το γινόμενο  $ii'$  με  $\frac{\mu_0}{4\pi} I I'$  η στοιχειώδης δύναμη που ασκείται από το κλειστό κύκλωμα S στο τμήμα ( τώρα)  $I'ds$  θα είναι:

$$d\vec{F} = I'd\vec{s}' \times \left( \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} \right) \quad \text{ή} \quad d\vec{F} = I'd\vec{s}' \times \left( \frac{\mu_0}{4\pi} I\vec{D} \right) \quad \text{ή} \quad d\vec{F} = I'ds' \frac{\mu_0}{4\pi} I D \eta \mu \hat{e}$$

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Ampère στους υπολογισμούς του για λόγους γενίκευσης έγραψε  $r^n$  παρόλο που πίστευε ακράδαντα ότι η τιμή του  $n$  είναι 2 για λόγους αντιστοιχίας με τις βαρυτικές δυνάμεις. Ποτέ δεν εργάστηκε με την έννοια «μαγνητικό πεδίο». Επίσης στις εργασίες τους οι Biot και Savart ποτέ δεν χρησιμοποίησαν τον όρο «μαγνητικό πεδίο», ενώ στη σύγχρονη εποχή συνηθίζουμε να γράφουμε ως νόμο των Biot και Savart τη σχέση:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$$

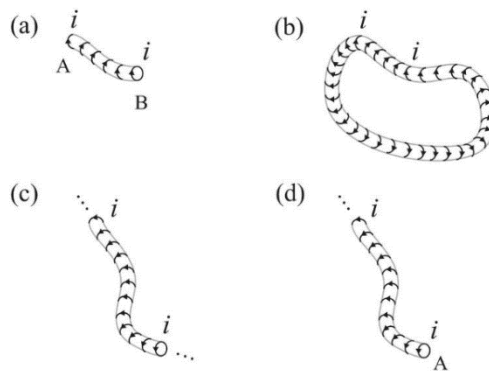
Η συσχέτιση του μεγέθους της έντασης του μαγνητικού πεδίου της σύγχρονης εποχής με

το διάνυσμα της διευθετούσας δίνει:  $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$  και  $\vec{D} = \oint_S \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$ , άρα

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I\vec{D} \quad \text{ή} \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} I D$$

Επομένως, η ευθεία γραμμή που αντιστοιχεί σ' αυτό που ο Ampère ονομάζει Διευθετούσα δεν συμπίπτει μόνο με το διάνυσμα που αντιστοιχεί στη Διευθετούσα, αλλά και με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το κλειστό κύκλωμα S στο στοιχειώδες τμήμα  $ds'$ .

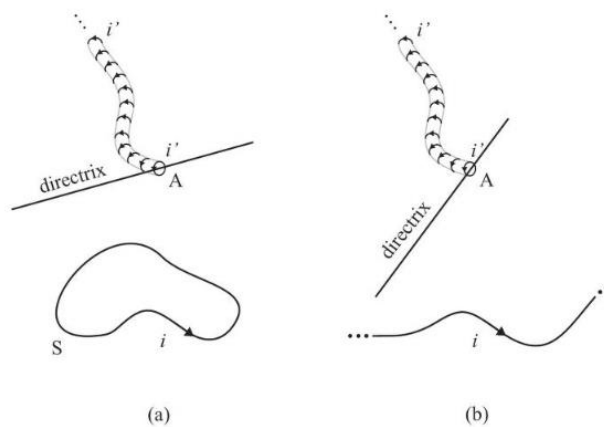
Στην παρουσίαση μιας εργασίας του στην «Ακαδημία των Επιστημών» στις 22 Δεκεμβρίου του 1822 θα εισάγει τον όρο «σωληνοειδές» και την ιδέα ενός ηλεκτροδυναμικού σωληνοειδούς.





Στην εικόνα φαίνονται τα ηλεκτροδυναμικά σωληνοειδή του Ampère: (a) πεπερασμένου μήκους (b) κλειστό (c) απείρου μήκους προς τις δύο κατευθύνσεις (d) απείρου μήκους προς τη μια κατεύθυνση.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η αλληλεπίδραση του άκρου σωληνοειδούς απεριόριστου μήκους προς τη μια κατεύθυνση (a) με ρευματοφόρο κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος και (b) με ρευματοφόρο κλειστό κύκλωμα τυχαίου σχήματος απείρου μήκους. Η διεύθυνση της Διευθετούσας=directrix – που έχει χαρακτηριστικό ρόλο σ' όλες τις παρουσιάσεις του Ampère – διέρχεται και στις δύο περιπτώσεις από το άκρο του σωληνοειδούς. <sup>(6)</sup>



Στις εργασίες του το 1824 θα ασχοληθεί με τη δύναμη μεταξύ ενός ρευματοφόρου σωληνοειδούς και ενός στοιχειώδους ρεύματος και τη δύναμη μεταξύ δύο σωληνοειδών πεπερασμένου μήκους. Θα ακολουθήσει η χαρτογράφηση του Γήινου μαγνητικού πεδίου στις εργασίες του Νοεμβρίου το 1825.

Η γνωστή σχέση που χρησιμοποιείται στην εποχή μας ως Νόμος του Ampère

( $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{enc}$ ) θα διατυπωθεί αργότερα από τον J.C.Maxwell.

Το 1826 ο Ampère άρχισε να διδάσκει στο «Collège de France», ήταν μια θέση που του έδινε τη δυνατότητα να σχεδιάζει τα μαθήματα, όπως αυτός ήθελε, και εκεί θα διδάξει Ηλεκτροδυναμική, αντίθετα στην «École Polytechnique» τα θέματα που διδάσκονταν ήταν καθορισμένα.

Ο γιος του, Jean-Jacques, υπήρξε σημαντικός καθηγητής Ιστορίας και Γλωσσολογίας στη Σορβόννη από το 1830 και μέλος της Ακαδημίας, αλλά η σχέση τους είχε προβλήματα. Ο Hofmann γράφει<sup>(4)</sup> :

*«Οι δύο άντρες ήταν ίδιας ιδιοσυγκρασίας και βίωναν μεγάλες χρονικές περιόδους περιουλογής που τις διαδέχονταν εκρηκτικά ξεσπάσματα θυμού. Το σπίτι του Ampère απλά δεν ήταν αρκετό για να στεγάσει και τους δύο για μεγάλο χρονικό διάστημα».*

Ακόμα πιο δύσκολη υπήρξε η σχέση με την κόρη του Albine η οποία το 1827 θα παντρευθεί μ' έναν υπολοχαγό του Ναπολέοντα που είχε προβλήματα αλκοολισμού. Η Albine θα τον εγκαταλείψει και θα πάει στο σπίτι του πατέρα της το 1830, αλλά λίγες ημέρες αργότερα ο Ampère θα επιτρέψει στον σύζυγό της να ζήσει μαζί τους. Η κατάσταση θα εξελιχθεί με άσχημο τρόπο και οι αστυνομικές επεμβάσεις θα είναι συχνές.

Ένα χειρόγραφο 16 σελίδων με ημερομηνία του 1824 και διορθώσεις που έγιναν το 1828 αποτελεί την αυτοβιογραφία του.<sup>(8)</sup>

Έζησε σε μια εποχή μεγάλων πολιτικών αλλαγών καθώς το «Παλιό καθεστώς» θα καταρρεύσει και τη «Γαλλική Επανάσταση» θα αντικαταστήσει η «Ναπολεόντεια περίοδος» για να ακολουθήσει η παλινόρθωση του Λουδοβίκου ΙΗ΄. Ως τυπικός εκπρόσωπος μιας γενιάς που έφερε τα βαθιά τραύματα που άφησε η «Επανάσταση» ( εκτέλεση του πατέρα, επίταξη της οικογενειακής περιουσίας) στην κοινωνική τάξη που ανήκε, θα αποδεχθεί, όπως και πολλοί άλλοι, τη συντηρητική ιδεολογία των γονέων του. Θα συνδεθεί με δίκτυα διανοουμένων όπως « L'école mystique= Μυστική Σχολή» γνωστή και ως «the Catholic group=Καθολικό γκρουπ». Πολλοί από τους φίλους του θα συνδεθούν με τη «Μυστική Σχολή» και θα ασχοληθούν με τη μελέτη των εργασιών του Immanuel Kant και θέματα θεοσοφικών και μυστηριακών παραδόσεων. Στην αυτοβιογραφία του αποκαλύπτει την επιρροή που δέχθηκε από μυστηριακές κινήσεις με σημαντικότερη αυτή που σχετίζεται με τον ζωικό μαγνητισμό του Franz Anton Mesmer που υποσχόταν μια θαυμαστή ενοποίηση όλων των πειραματικών φαινομένων μέσω ενός μαγνητικού υγρού. Η θεωρία αυτή θα απορριφθεί ως ψευδο- επιστημονική το 1784 από την «Ακαδημία των Επιστημών».

Οι πολιτικές σχέσεις του Ampère με αυτό το γκρουπ χαρακτηρίζονταν από την κοινή αποστροφή της βίας, που η «Επανάσταση» θεωρούσε δικαιολογημένη, ως δύναμη που οδηγεί στην πρόοδο και την ελευθερία. Έτσι ο γαλλικός Ρομαντισμός θα εμφανιστεί στη Λυών ως μια κοινωνική αντίδραση που δικαιώνει την πολιτιστική κληρονομιά, απέναντι σε μια καιροσκοπική φιλοσοφία και θα επηρεάσει βαθιά το όραμα του Ampère για την επιστήμη.<sup>(9)</sup>

Από το 1815 έως το 1819 θα είναι απορροφημένος στις μεταφυσικές του αναζητήσεις, αλλά

το 1820, όταν ανακοινώνεται το πείραμα Ørsted, συλλαμβάνει αμέσως την ιδέα της ενοποίησης των ηλεκτρικών και μαγνητικών δυνάμεων και στρέφει τις έρευνές του στο πεδίο που αυτός αργότερα θα ονομάσει Ηλεκτροδυναμική.

Όταν η μεγάλη πλειοψηφία της Παρισινής επιστημονικής κοινότητας των αρχών του 19<sup>ου</sup> αιώνα θα θεωρούσε την ανακάλυψη του Ørsted ως μια ακόμη «*rêverie allemande* = *γερμανική ονειροπόληση*», χαρακτηριστική της γερμανικής Φυσικής Φιλοσοφίας, αυτός θα την υποστήριζε. Αυτός είναι ο λόγος που ο Ampère θα θεωρηθεί ως μια αινιγματική προσωπικότητα στην Ιστορία της Επιστήμης που αφήφησε το κυρίαρχο δόγμα της γαλλικής επιστημονικής κοινότητας των αρχών του 19<sup>ου</sup> αιώνα, την «Laplacian Φυσική» που ήθελε ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός να είναι δύο διαφορετικά φαινόμενα τα οποία για να εξηγηθούν χρειάζονται δύο διαφορετικά μη ζυγίσιμα υγρά.<sup>(9)</sup>

Ο Pearce L. Williams θεωρεί ως πιθανή εξήγηση ότι ο Ampère δελεάστηκε από την ανακάλυψη του Ørsted λόγω της σχέσης του με τη Μεταφυσική. Στα χρόνια της νιότης του στην Λυών είχε επηρεαστεί βαθιά από Γερμανούς φιλοσόφους, όπως Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling, (Σ.Σ Γερμανός φιλόσοφος, 1775 -1854, εμβληματικός εκπρόσωπος του γερμανικού ιδεαλισμού μαζί με τον μέντορά του Johann Gottlieb Fichte και τον συγκάτοικό του στο πανεπιστήμιο Georg Wilhelm Friedrich Hegel) που υποστήριζαν την ενοποίηση όλων των δυνάμεων στη φύση.

Μπορούμε λοιπόν να εκτιμήσουμε ότι οι πολιτιστικές σχέσεις του με το κίνημα του Ευρωπαϊκού Ρομαντισμού συνετέλεσαν, ώστε να κατανοήσει τα μαγνητικά φαινόμενα με όρους ηλεκτρισμού και να θεμελιώσει την Ηλεκτροδυναμική. Ο νεαρός από τη Λυών δεν θα επηρεαστεί μόνο από τον γερμανικό Ιδεαλισμό, αλλά και από τον ευρωπαϊκό Ρομαντισμό που προκάλεσε μια άλλη «επανάσταση» στην Ιστορία της Επιστήμης.<sup>(9)</sup> Ο αντίλογος έρχεται από τον James R. Hoffman <sup>(4)</sup> που απορρίπτει τη σχέση του Ampère με το κίνημα του Ρομαντισμού καθώς ήταν ένας πιο καλλιεργημένος άνθρωπος στις επιστήμες από ότι άλλες προσωπικότητες του Ρομαντισμού.

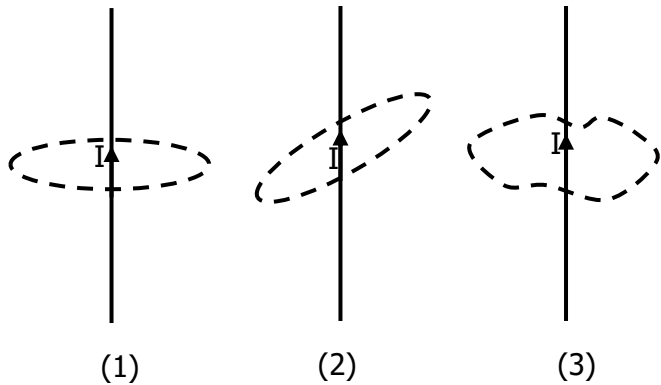
Ο Ampère θα είναι 61 ετών, όταν σε μια επιθεώρηση στη Μασσαλία θα νοσήσει από πνευμονία και η υγεία του είναι ήδη επιβαρυνμένη. Θα φύγει από τη ζωή στις 10 Ιουνίου του 1836 και αρχικά θα ταφεί στη Μασσαλία, αργότερα θα μεταφερθεί στο κοιμητήριο της Μονμάρτρης.

Είχε ζητήσει στην επιτύμβια στήλη του να γραφεί «Tandem felix= ευτυχισμένος τελικά».

## Ο Νόμος και οι εφαρμογές

### 1<sup>η</sup> Εφαρμογή

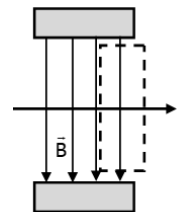
Ο ευθύγραμμος αγωγός του σχήματος διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης  $I$ . Η εφαρμογή του Νόμου του Ampere δίνει την μορφή  $\sum B_i \Delta l_i = \mu_0 I$ , όπου  $B_i$  οι εφαπτομενικές στην κλειστή διαδρομή συνιστώσες της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Η μορφή αυτή του Ν. Ampere είναι σωστή



- α.** μόνο στην κλειστή διαδρομή (1).
- β.** στις κλειστές διαδρομές (1) και (2).
- γ.** στις κλειστές διαδρομές (1) και (3).
- δ.** και στις τρεις κλειστές διαδρομές.

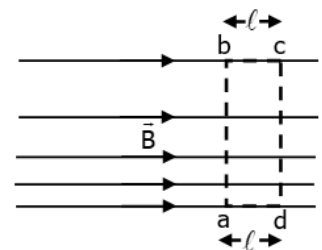
### 2<sup>η</sup> Εφαρμογή

Δείξτε ότι είναι αδύνατον ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης  $\vec{B}$  να μηδενιστεί απότομα, όταν κινούμαστε κάθετα σε αυτό, όπως δείχνει το οριζόντιο βέλος στο διπλανό σχήμα.



### 3<sup>η</sup> Εφαρμογή

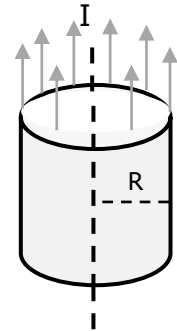
Δείξτε ότι σε μια περιοχή του χώρου όπου δεν υπάρχουν ηλεκτρικά ρεύματα δεν μπορεί να υπάρχει μαγνητικό πεδίο σταθερής (μιας) κατεύθυνσης που να μην είναι ομογενές, όπως αυτό που εικονίζεται στο διπλανό σχήμα.



#### 4<sup>η</sup> Εφαρμογή

Θεωρούμε μια στήλη ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται μέσα από ένα ιονισμένο αέριο(πλάσμα). Η στήλη αποτελείται από στοιχειώδη ρεύματα που έλκονται μαγνητικά μεταξύ τους.

Καθώς αυτά συνωστίζονται δημιουργούν ένα ισχυρό ρεύμα που δημιουργεί σε μια μικρή περιοχή ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο που κάποιες φορές μπορεί να διακοπεί στιγμιαία από αυτό που ονομάζουμε φαινόμενο ηλεκτρομαγνητικού τσιμπήματος (pinch effect).



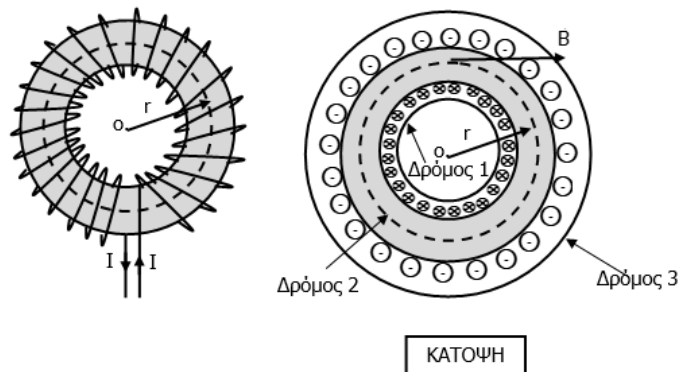
Το φαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού τσιμπήματος (pinch effect) μπορεί να δείχθει με απλό τρόπο αν τροφοδοτήσουμε ένα άδειο κυλινδρικό κουτί αναφυκτικού από αλουμίνιο με ρεύμα μεγάλης έντασης που είναι παράλληλο προς τον άξονα του κουτιού και έχει φορά προς τα πάνω, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Αν R είναι η ακτίνα του κουτιού και I η ένταση του ρεύματος, να υπολογίσετε την ένταση του μαγνητικού πεδίου:

**α.** σ' ένα σημείο που βρίσκεται στο εσωτερικό του κουτιού και ακριβώς δίπλα στο παράπλευρο τοίχωμά του,

**β.** σ' ένα σημείο που βρίσκεται στο εξωτερικό του κουτιού και ακριβώς δίπλα στο παράπλευρο τοίχωμά του.

#### 5<sup>η</sup> Εφαρμογή

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ένα δακτυλιοειδές πηνίο (πηνίο σχήματος τόρου) που οι σπείρες του είναι τυλιγμένες γύρω σε πυρήνα από μονωτικό υλικό με εσωτερική ακτίνα r και εξωτερική R, το οποίο διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και έχει αριθμό σπειρών ανά μονάδα μήκους n ( $n = \frac{N}{2\pi R}$ ).



μονάδα μήκους n ( $n = \frac{N}{2\pi R}$ ).

Θεωρήστε ότι η ακτίνα της εγκάρσιας διατομής του δακτυλίου είναι μικρή σε σύγκριση με

την ακτίνα του δακτυλίου.

**α.** Να υπολογίσετε την ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται σ' ένα σημείο που βρίσκεται πάνω στην διαδρομή- δρόμο 2.

**β.** Να εφαρμόσετε το Νόμο του Ampere κατά μήκος των κλειστών διαδρομών-δρόμων 1 και 3 και να υπολογίσετε το άθροισμα  $\sum B\Delta l \sin\theta$ .

Υπάρχει μαγνητικό πεδίο κατά μήκος αυτών των διαδρομών;

## Απαντήσεις

### 1<sup>η</sup> Εφαρμογή

**δ.**

Είναι προφανές ότι το ερώτημα θέλει να δείξει ότι το αποτέλεσμα της εφαρμογής του Νόμου δεν εξαρτάται από τον προσανατολισμό του Αμπεριανού βρόχου.

### 2<sup>η</sup> Εφαρμογή

Εφαρμόζουμε τον Νόμο του Ampere στην κλειστή διαδρομή abcda:

$$\sum_{abcda} B\Delta l_i \sin\hat{\theta}_i = 0 \Rightarrow$$

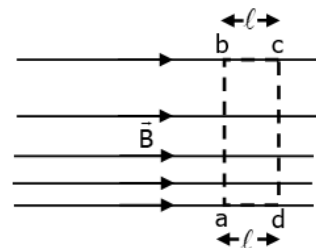
$$\sum_{ab} B\Delta l_i \sin 90^\circ + \sum_{bc} B\Delta l_i \sin 0^\circ + \sum_{cd} B\Delta l_i \sin 90^\circ + \sum_{da} B\Delta l_i \sin 180^\circ = 0$$

$$\Rightarrow B_{bc}(bc) - B(da) = 0 \Rightarrow B_{bc} = B \neq 0.$$

Συμπερασματικά, το μαγνητικό πεδίο των μόνιμων μαγνητών δεν διακόπτεται απότομα, αλλά οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές σκεδάζονται ομαλά μέχρι η ένταση  $\vec{B}$  να γίνει μηδέν.

### 3<sup>η</sup> Εφαρμογή

Εφαρμόζουμε τον Νόμο του Ampere στην κλειστή διαδρομή abcda. Όπως προκύπτει από τη μορφή του μαγνητικού πεδίου( πυκνότητα των μαγνητικών δυναμικών γραμμών), στην περιοχή που βρίσκεται κοντά στη διαδρομή bc η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μικρότερη από την αντίστοιχη στη διαδρομή κοντά στη διαδρομή da:



$$\sum_{abcd} B_i \Delta l_i \sin \hat{\theta}_i = 0 \Rightarrow \sum_{ab} B_i \Delta l_i \sin 90^\circ + \sum_{bc} B_i \Delta l_i \sin 0^\circ + \sum_{cd} B_i \Delta l_i \sin 90^\circ + \sum_{da} B_i \Delta l_i \sin 180^\circ = 0$$

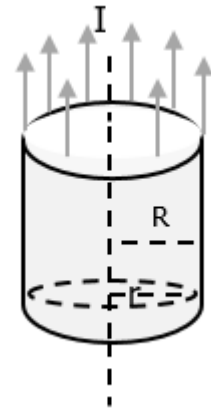
$$\Rightarrow \sum_{bc} B_{bc} \Delta l_i - \sum_{da} B_{da} \Delta l_i = 0 \Rightarrow B_{bc} \sum_{bc} \Delta l_i - B_{da} \sum_{da} \Delta l_i = 0 \Rightarrow B_{bc} \ell - B_{da} \ell = 0 \Rightarrow B_{bc} = B_{da}.$$

Άρα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος της bc πρέπει να είναι ίση με αυτή κατά μήκος της da, επομένως το μαγνητικό, πεδίο πρέπει να είναι ομογενές.

#### 4<sup>η</sup> Εφαρμογή

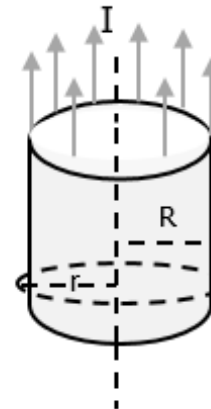
**α.** Θεωρούμε ως Αμπεριανό βρόχο έναν κύκλο ακτίνας r οριακά μικρότερης από την ακτίνα R του αλουμινένιου κουτιού με κέντρο πάνω στον άξονα του κουτιού και φορά διαγραφής του βρόχου αντι-ωρολόγια:

$$\sum_{\substack{\text{κύκλος} \\ \text{ακτίνας } r}} B_i \Delta l_i \sin \hat{\theta}_i = 0 \Rightarrow B \cdot 2\pi r = 0 \Rightarrow B = 0.$$



**β.** Θεωρούμε ως Αμπεριανό βρόχο έναν κύκλο ακτίνας r οριακά μεγαλύτερης από την ακτίνα R του αλουμινένιου κουτιού με κέντρο πάνω στον άξονα του κουτιού και φορά διαγραφής του βρόχου αντι-ωρολόγια:

$$\sum_{\substack{\text{κύκλος} \\ \text{ακτίνας } r}} B_i \Delta l_i \sin 0^\circ = \mu_0 I \Rightarrow B \cdot 2\pi R = \mu_0 I \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}.$$



Μια πειραματική επίδειξη του φαινομένου :

<https://www.youtube.com/watch?v=ubOTTPD1GL0>

και <https://youtu.be/-2QaTyDJDEI> μετά το 23.30'

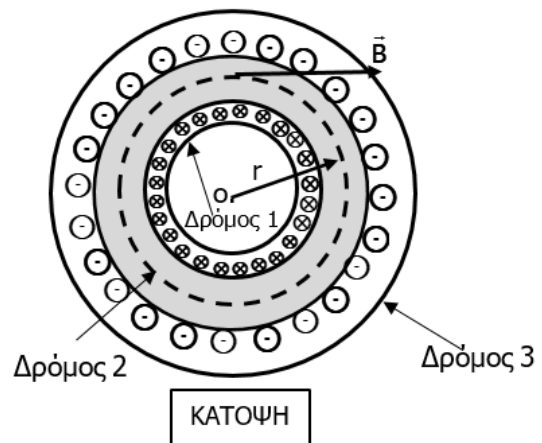
## 5<sup>η</sup> Εφαρμογή

**α.** Εφαρμόζουμε το Νόμο του Ampere στο δρόμο – Αμπεριανό βρόχο 2 με φορά διαγραφής ωρολογιακή και όπως προκύπτει από το διπλανό σχήμα

$$\sum_{\text{δρόμος 2}} B_i \Delta l_i \sin \theta^0 = \mu_0 N I \Rightarrow B \cdot 2\pi r = \mu_0 n \cdot 2\pi r I \Rightarrow B = \mu_0 n I$$

$$\text{ή } B = \mu_0 \frac{N I}{2\pi r} .$$

Στην τελευταία σχέση η απόσταση  $r$  μετριέται από τον άξονα του τοροειδούς και αντιστοιχεί σε σημεία που βρίσκονται πάνω στο τοροειδές. Επομένως, το μαγνητικό πεδίο μέσα στις σπείρες δεν είναι ομογενές, αλλά είναι ισχυρότερο στο εσωτερικό άκρο του τόρου (κατά μήκος της εσωτερικής του ακτίνας) και ασθενέστερο στο εξωτερικό του άκρο (κατά μήκος της εξωτερικής ακτίνας). Αν το τοροειδές είναι μικρού πάχους, δηλαδή η ακτίνα των σπειρών του είναι πολύ μικρότερη από τη μέση ακτίνα του τόρου, τότε πρακτικά θεωρείται ομογενές.



**β.** Εφαρμόζουμε το Νόμο του Ampere στο δρόμο – Αμπεριανό βρόχο 1 με φορά διαγραφής ωρολογιακή και όπως προκύπτει από το διπλανό σχήμα:

$$\sum_{\text{δρόμος 2}} B_i \Delta l_i \sin \hat{\theta}_i = \mu_0 \cdot 0 = 0 , \text{ διότι στο εσωτερικό του δρόμου 1 δεν υπάρχουν ρεύματα.}$$

Αντίστοιχα στο δρόμο – Αμπεριανό βρόχο 3 με φορά διαγραφής ωρολογιακή ο νόμος του Ampere δίνει:

$$\sum_{\text{δρόμος 2}} B_i \Delta l_i \sin \hat{\theta}_i = \mu_0 N (I - I) = 0 , \text{ διότι το ρεύμα που διαρρέει κάθε μία από τις } N \text{ σπείρες του}$$

τοροειδούς εισέρχεται και εξέρχεται από το βρόχο 3.

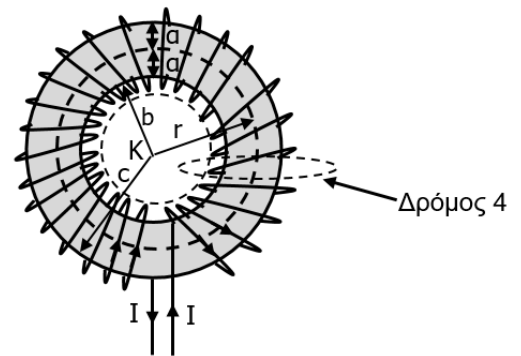


### Ένα συνηθισμένο λάθος

Ο μηδενισμός του δεύτερου μέλους στο Νόμο του Ampere , όταν αυτός εφαρμόζεται στους δρόμους 1 και 3 απαιτεί μηδενισμό και του πρώτου μέλους. Συχνά στη βιβλιογραφία ο μηδενισμός του πρώτου μέλους αποδίδεται στη μη ύπαρξη μαγνητικού πεδίου ( $\vec{B} = 0$ ) στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του δακτυλιοειδούς πηνίου.

(Ενδεικτικά: ΦΥΣΙΚΗ HALLIDAY D-RESNICK R-WALKER J 8<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ 2014 σελ. 985 και ΦΥΣΙΚΗ ΓΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ D. C GIANCOLI ΤΟΜΟΣ Β΄ 4<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ 2018 σελ 280.)

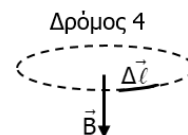
Αυτή η απότομη κατάργηση του μαγνητικού πεδίου δεν εξηγείται ακόμα και αν το ρεύμα που διαρρέει τις σπείρες του δακτυλιοειδούς πηνίου είναι ασθενές. Στο εξωτερικό του τόρου δημιουργείται ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, όπως συμβαίνει και σε σωληνοειδές μεγάλου μήκους. Άλλωστε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα ιδανικό τοροειδές πηνίο προκύπτει από την κάμψη ενός ιδανικού σωληνοειδούς πηνίου. Το ότι θεωρούμε αμελητέο το μαγνητικό πεδίο στο εξωτερικό ενός ιδανικού σωληνοειδούς (πολύ μεγάλου μήκους με σφιχτά τυλιγμένες τις σπείρες ) δεν σημαίνει ότι εκτός του σωληνοειδούς δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο.



Η εξήγηση για το μηδενισμό του πρώτου μέλους στο Νόμο του Ampere κατά μήκος των δρόμων 1 και 3 σχετίζεται με την τιμή της γωνίας μεταξύ  $\vec{B}$  και  $\Delta\vec{\ell}_i$  η οποία είναι  $\hat{\theta}_i = 90^\circ$  με αποτέλεσμα

$$\text{Στους δρόμους 1 και 3 : } \sum \vec{B} \cdot 2\pi r \cdot \sin 90^\circ = 0, \text{ αλλά } \vec{B} \neq 0 !$$

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου  $\vec{B}$  σε σημεία που ισαπέχουν από τον άξονα του δακτυλιοειδούς πηνίου θεωρήθηκε ίδια λόγω συμμετρίας και της παραδοχής ότι πρόκειται για ένα ιδανικό πηνίο στο οποίο οι σπείρες του έχουν τυλιχθεί σφιχτά γύρω από τον τόρο.



Το προηγούμενο συμπέρασμα επιβεβαιώνεται αν εφαρμόσουμε το Νόμο του Ampere στο δρόμο 4 που είναι κάθετος στη σελίδα, οι σπείρες του πηνίου διέρχονται μέσα από αυτόν και διαρρέονται από ρεύμα αντι - ωρολόγιας φοράς. Για  $r < b$  ή  $r > c$  ισχύει  $\sum \vec{B} \cdot \Delta\vec{\ell}_i = 0$  διότι  $\vec{B} \perp \Delta\vec{\ell}_i$  και όχι επειδή  $\vec{B} = 0$ .

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- 1.**Εγκυκλοπαίδεια Britannica, Biography of André Marie Ampère
- 2.**MacTutor History of Mathematics Archive University of St. Andrews, Biography of André Marie Ampère
- 3.**AMPERE LETTERS SHOW FLOWERING OF YOUNG GENIUS By John Noble Wilford Nov.25 1986 «The New York Times» Archives
- 4.**André-Marie Ampère: Enlightenment and Electrodynamics (Cambridge Science Biographies) by James R. Hofmann 1st Edition 2006
- 5.**ExecutedToday.com. 1793: Jean-Jacques Ampère, father of a savant, for Joseph Chalier November 22nd, 2013 Amelia Fedo
- 6.** Ampère’s Electrodynamics Analysis of the Meaning and Evolution of Ampère’s Force between Current Elements, together with a Complete Translation of his Masterpiece: “Theory of Electrodynamical Phenomena, Uniquely Deduced from Experience” by A. K. T. Assis and J. P. M. C. Chaib first published 2015
- 7.**Electrodynamics from Ampere to Einstein Olivier Darrigol Oxford University Press, 2000
- 8.** André-Marie AMPERE, “Note sur la vie et les travaux de A. M. Ampère.”
- 9.** A Romantic life dedicated to Science: André-Marie Ampère's Autobiography MARTIN MORUNO, Dolorès Teorie vědy, 2011, vol. 33, no. 2, p. 299-322
- 10.**ΦΥΣΙΚΗ HALLIDAY.D-RESNICK.R-WALKER.J 8<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ 2014
- 11.**ΦΥΣΙΚΗ ΓΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ D. C GIANCOLI ΤΟΜΟΣ Β΄ 4<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ 2018
- 12.**Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 8th Edition by Raymond A. Serway (Author), John W. Jewett 2009

**Ξ. Σ. Στεργιάδης**