



ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η εξέλιξη του ηλεκτρισμού, από φυσικό δεδομένο σε κύριο ενεργειακό και οικονομικό παράγοντα

Η ερευνητική εργασία υλοποιήθηκε από τους μαθητές της Β τάξης του Γενικού Λυκείου Αριστομένη στα πλαίσια του σχολικού έτους 2012-2013

Υπεύθυνος Καθηγητής: Καραμήτσος Φώτης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ενότητα 1.....	3
1. Εισαγωγή.....	3
2. Θεμελιώδη ηλεκτρικά μεγέθη.....	4
3. Ηλεκτρική Ενέργεια και Ισχύς – Μονάδες.....	5
Ενότητα 2.....	8
1. Εισαγωγή.....	8
2. Πειράματα και Εφευρέσεις.....	8
2.3 Η θεμελίωση της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας – ο Maxwell	20
Ενότητα 3.....	25
3.1. Εισαγωγή.....	25
2. Η σημασία της Ηλεκτρικής Ενέργειας στη σύγχρονη εποχή.....	25
3. Οι Μεγάλες Εταιρίες.....	28
4. Ο ηλεκτρισμός φτάνει στην Ελλάδα.....	29
5. Εξειλίξεις και Εξειδικεύσεις.....	29
Ενότητα 4.....	31
1. Εισαγωγή.....	31
2. Κλασσικές μέθοδοι παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	31
3. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές (ΑΠΕ).....	37
Ενότητα 5.....	45
5.1 Η Ηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα.....	45

1.1.Εισαγωγή

Ο **ηλεκτρισμός** είναι ένας «γενικός» όρος περιλαμβάνει τα «ηλεκτρικά φαινόμενα», δηλαδή ένα σύνολο από φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με την παρουσία και τη ροή ηλεκτρικού φορτίου. Ο ηλεκτρισμός δίνει με μια ευρεία ποικιλία από πολύ γνωστά φαινόμενα, όπως οι αστραπές, ο στατικός ηλεκτρισμός, η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπρόσθετα, Ο ηλεκτρισμός μαζί με τον μαγνητισμό αποτελούν την ενιαία έκφραση του ηλεκτρομαγνητισμού, μιας από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις, και μαζί επιτρέπουν τη δημιουργία και τη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως για παράδειγμα τα ραδιοκύματα. Τα ηλεκτρικά φορτία παράγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία, που αλληλεπιδρούν με άλλα ηλεκτρικά φορτία.

Ο όρος **ηλεκτρισμός** είναι, όμως, πολύ γενικός και αναφέρεται σε πολλά επί μέρους θέματα, τα οποία εξηγούνται καλύτερα με πιο ακριβείς όρους, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

Ηλεκτρικό φορτίο: Είναι μια ιδιότητα κάποιων υποατομικών σωματιδίων, που καθορίζουν τις ηλεκτρομαγνητικές τους αλληλεπιδράσεις. Η ηλεκτρικά φορτισμένη ύλη δημιουργεί και αλληλεπιδρά με ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Μετριέται σε κουλόμπ (C ή C_b).

Ηλεκτρικό ρεύμα: Η κίνηση ή η ροή ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων. Μετριέται σε αμπέρ (A).

Ηλεκτρικό πεδίο: Ένας εξαιρετικά απλός τύπος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται από ένα ηλεκτρικό φορτίο ακόμη κι αν είναι ακίνητο. Το ηλεκτρικό πεδίο παράγει ζεύγη δυνάμεων αλληλεπίδρασης με κάθε άλλο ηλεκτρικό φορτίο που βρίσκεται μέσα στην περιοχή του. Η κίνηση ενός ηλεκτρικού φορτίου παράγει επιπλέον ένα μαγνητικό πεδίο.

Ηλεκτρικό δυναμικό: Είναι η δυνατότητα ενός ηλεκτρικού πεδίου να δημιουργήσει δημιουργήσει δυνάμεις αλληλεπίδρασης σε άλλα ηλεκτρικά φορτία. Μετριέται τυπικά σε Βολτ (V).

Ηλεκτρομαγνήτες: Τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγουν μαγνητικά πεδία και τα κινούμενα μαγνητικά πεδία παράγουν ηλεκτρικά ρεύματα.

Η ηλεκτρολογική μηχανική αναπτύσσει και μελετά τις πρακτικές εφαρμογές του ηλεκτρισμού και φυσικά μεγέθη, όπως για παράδειγμα:

Ηλεκτρική ισχύς: Η ενέργεια που ένα ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιεί για να ενεργοποιήσει ένα μηχανισμό.

Ηλεκτρονική: Ασχολείται με ηλεκτρικά κυκλώματα που ασχολούνται με ενεργά ηλεκτρικά εξαρτήματα, όπως σωλήνες κενού, κρυσταλλολυχνίες, διόδους, ολοκληρωμένα κυκλώματα, και σχετικές παθητικές τεχνολογίες διασύνδεσης.

1.2 Θεμελιώδη ηλεκτρικά μεγέθη

Ηλεκτρικό φορτίο

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μια ιδιότητα κάποιων [υποατομικών σωματιδίων](#), όπως των [ηλεκτρονίων](#) και των [πρωτονίων](#), τα οποία αλληλεπιδρούν μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και δημιουργούν ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους. Είναι υπεύθυνο για μια από τις τέσσερις [θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις](#) της φύσης, την [ηλεκτρομαγνητική](#) και είναι μια διατηρούμενη ποσότητα της [ύλης](#), η οποία μπορεί να [κβαντιστεί](#). Υπάρχουν δύο είδη φορτίων: το ένα ονομάζεται *θετικό* και το άλλο *αρνητικό*. Μέσα από πειράματα, βλέπουμε πως αντικείμενα με ίδιο φορτίο απωθούνται, ενώ αντικείμενα με αντίθετα φορτία έλκονται. Αυτό οφείλεται στη δύναμη που δημιουργείται μεταξύ τους, η ένταση της οποίας δίνεται από το [Νόμο του Κουλόμπ](#).

Ηλεκτρικό δυναμικό

Η διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ορίζεται ως το [έργο](#) προς τη μονάδα του φορτίου που χρειάζεται να καταναλωθεί (ενάντια στις ηλεκτρικές δυνάμεις), ώστε να μετακινηθεί ένα θετικό σημειακό φορτίο αργά ανάμεσα στα δύο σημεία. Εάν το ένα από τα σημεία θεωρείται ως [σημείο αναφοράς](#) με δυναμικό ίσο με το μηδέν, τότε το ηλεκτρικό δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο ορίζεται ως το έργο που χρειάζεται προς τη μονάδα φορτίου για να μετακινηθεί ένα θετικό σημειακό φορτίο από το σημείο αναφοράς στο σημείο προσδιορισμού του δυναμικού. Για απομονωμένα φορτία, το σημείο αναφοράς είναι συνήθως το [άπειρο](#). Το δυναμικό μετριέται σε [Βολτ](#) ($1 \text{ Βολτ} = 1 \text{ Τζάουλ/Κουλόμπ}$). Το ηλεκτρικό δυναμικό είναι ανάλογο της [θερμοκρασίας](#): υπάρχει διαφορετική θερμοκρασία για κάθε σημείο στο χώρο, και η κλίση της θερμοκρασίας δείχνει τη διεύθυνση και το μέτρο της δύναμης σε κάθε αλλαγή της θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, υπάρχει ένα ηλεκτρικό δυναμικό σε κάθε σημείο στο χώρο, και η κλίση του δείχνει τη διεύθυνση και το μέτρο της δύναμης σε κάθε κίνηση φορτίου.

Ηλεκτρικό πεδίο

Η έννοια των ηλεκτρικών πεδίων εισήχθη από τον [Μάικλ Φαραντέι](#). Η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου δρα ανάμεσα σε δύο φορτία, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο η [βαρυτική δύναμη](#) δρα ανάμεσα σε δύο [μάζες](#). Το ηλεκτρικό πεδίο, όμως, είναι λίγο διαφορετικό. Η βαρυτική δύναμη εξαρτάται από τη μάζα δύο σωμάτων, ενώ η ηλεκτρική δύναμη από τα ηλεκτρικά φορτία αυτών. Ενώ η βαρύτητα μπορεί μόνο να έλξει δύο μάζες, η ηλεκτρική δύναμη μπορεί να είναι είτε ελκτική, είτε απωστική. Εάν και τα δύο φορτία είναι ίδιου προσήμου (π.χ. θετικά), τότε θα υπάρξει μια απωστική δύναμη μεταξύ τους. Εάν τα φορτία είναι αντίθετα, τότε η δύναμη θα είναι ελκτική ανάμεσα στα δύο αντικείμενα. Το μέτρο της δύναμης είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης των δύο σωμάτων και ανάλογο του γινομένου των μέτρων των φορτίων τους.

Ηλεκτρικό ρεύμα

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι μια ροή ηλεκτρικού φορτίου, και η έντασή του μετريέται σε Αμπέρ. Παραδείγματα ηλεκτρικού ρεύματος περιλαμβάνουν την αγωγιμότητα των μετάλλων, όπου τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω ενός αγωγού, όπως για παράδειγμα μέσω ενός μεταλλικού καλωδίου, και την ηλεκτρόλυση, όπου τα ιόντα (φορτισμένα άτομα) ρέουν μέσω ενός υγρού. Τα ίδια τα σωματίδια κινούνται συχνά αρκετά αργά, ενώ το ηλεκτρικό πεδίο που ευθύνεται για την κίνησή τους διαδίδεται με ταχύτητα κοντά σε αυτή του φωτός. Δείτε επίσης και ηλεκτρική αγωγιμότητα για περισσότερες πληροφορίες.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν της αρχές της ροής ηλεκτρικού φορτίου σε υλικά, ονομάζονται ηλεκτρονικές συσκευές.

Το συνεχές ρεύμα (DC) έχει σταθερή κατεύθυνση ροής, ενώ το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) αλλάζει διαρκώς κατεύθυνση. Η μέση χρονική τιμή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μηδενική, αλλά όχι και η ικανότητα να δώσει ενέργεια (τιμή RMS).

Ο Νόμος του Ωμ είναι μια σημαντική σχέση, η οποία περιγράφει την συμπεριφορά των ηλεκτρικών ρευμάτων σε σχέση με την πηγή.

Για ιστορικούς λόγους θεωρούμε πως το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από το πιο θετικό μέρος ενός κυκλώματος στο πιο αρνητικό. Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος που ορίζεται έτσι ονομάζεται συμβατική φορά.

1.3 Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς – μονάδες

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει διαφορετικές φυσικές δράσεις όπως η ροή ηλεκτρικών φορτίων σε ρεύμα, ο στατικός ηλεκτρισμός, η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένας από τους κύριους ενεργειακούς μεταφορείς σήμερα αλλά πρέπει πρώτα να παραχθεί. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας ως ενεργειακός μεταφορέας αποτελεί το ότι είναι μια από τις πιο ευέλικτες ενεργειακές μορφές και καθαρή στη χρήση.

Ηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, και οφείλεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης ικανής διαφοράς δυναμικού (τάσης) στα άκρα ενός αγωγού.

Όταν γίνεται χρήση του ηλεκτρισμού η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας π.χ. σε κινητική ενέργεια όταν λειτουργεί ένας κινητήρας ή σε φως όταν ανάβει ένας λαμπτήρας.

Ωστόσο, πολύ χρήσιμη είναι και η έννοια της ηλεκτρικής ισχύος.

Ως ισχύς ορίζεται γενικά ο ρυθμός παραγωγής έργου, ή περισσότερο κατανοητά, ο ρυθμός μεταβίβασης οποιασδήποτε μορφής ενέργειας. Συγκεκριμένα, η ηλεκτρική ισχύς εμφανίζεται οπουδήποτε συνυπάρχουν ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

Όπως ήδη αναφέραμε, το ηλεκτρικό ρεύμα διακρίνεται σε συνεχές και εναλλασσόμενο, όπως είναι το ρεύμα που παρέχεται στους οικιακούς καταναλωτές από τους παρόχους

Ηλεκτρικής Ενέργειας. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα η (φασική: μεταξύ αγωγού και γης) τάση του δικτύου της ΔΕΗ είναι 230Volt ενώ η συχνότητα του δικτύου είναι 50Hz (Φυσικά, υπάρχουν μικρές αποκλίσεις σε αυτά τα νούμερα και το μέγεθος των αποκλίσεων είναι που χαρακτηρίζει και την ποιότητα του δικτύου).

Στην περίπτωση του τριφασικού εναλασσόμενου συστήματος η τροφοδοσία γίνεται από τρεις αγωγούς οι οποίοι έχουν φασική τάση 230 Volt ο καθένας αλλά έχουν διαφορά φάσης 120 μοιρών μεταξύ τους. Η πολική τάση (μεταξύ των αγωγών) είναι 400 Volt.

Ο ηλεκτρισμός, η ροή δηλαδή ροή ηλεκτρονίων από ένα σημείο με υψηλό δυναμικό σε ένα άλλο με χαμηλό δυναμικό, εμφανίζεται όταν εφαρμόζουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο σε κάποια κατανάλωση (φορτίο).

Τα **φορτία** μπορούν να διακριθούν σε:

ωμικά (πχ μια αντίσταση),

επαγωγικά (πχ ένα πηνίο, κινητήρας

χωρητικά (πχ ένας πυκνωτής)

Στην φύση πάντως δεν υπάρχουν υλικά ή φορτία που να έχουν απόλυτα ωμική, επαγωγική ή χωρητική συμπεριφορά.

Πολλές φορές δημιουργείται σύγχυση σχετικά με τους όρους ενέργεια και ισχύς. Ένας ορισμός που συσχετίζει την ισχύ με την ενέργεια είναι ότι: Η **ισχύς** περιγράφει το μέγεθος της στιγμιαίας δυνατότητας ενός συστήματος να παράγει (ή να καταναλώνει) μια μορφή **ενέργειας** όπως ηλεκτρική, θερμική κλπ.

Γνωστές μας μονάδες ηλεκτρικής ισχύος είναι το κιλοβατ - killoWatt (kW). Ενώ η μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κιλοβατώρα - kilowatt-hour (kWh).

Μία κιλοβατώρα θεωρητικά αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώθηκε από μια συσκευή ισχύος 1kilowatt (κιλοβάτ) που λειτούργησε για την διάρκεια της μιας ώρας (1hour).

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1\text{h} = 1 \text{ kilowatt-hour} = 1 \text{ κιλοβατώρα}$$

Υποδιαιρέσεις μονάδας ενεργού ισχύος

$$1 \text{ kW (kilowatt)} = 1000 \text{ W (watt)}$$

$$1 \text{ MW (megawatt)} = 1000 \text{ kW (kilowatt)}$$

$$1 \text{ TW (terawatt)} = 1000 \text{ MW (megawatt)}$$

Αεργος ισχύς

Στην πραγματικότητα η κιλοβατώρα είναι η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ή παραγωγής ενεργού ισχύος. Στην πράξη οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην συνολική ενέργεια που «απορροφούν», «καταναλώνουν» ή «παράγουν» και ένα άλλο ποσοστό ενέργειας ανάλογα με τα ποιοτικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (χωρητικά, επαγωγικά φορτία).

Αυτή είναι η άεργος ισχύς (reactive power) ή οποία είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες (I^2R) ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Βελτίωση του «συνημίτονου» μιας εγκατάστασης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με την προσθήκη φορτίων πυκνωτών ή με την προσθήκη καταναλώσεων επαγωγικών ρευμάτων (πηνίων) ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (επαγωγική συμπεριφορά ή χωρητική αντιστοίχως).

Η μονάδα της άεργου ισχύος είναι το VoltAmpereReactive (VAR)

Η συνολική ισχύς λέγεται και «φαινόμενη» και έχει μονάδα το Volt-Ampere (VA)

Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος είναι $S=VI=(\rho\acute{\iota}\zeta\alpha(P^2+Q^2))$ Volt Ampere

Το P είναι η ενεργός ισχύς ενώ το Q η άεργος .

Ενότητα 2

2.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή, θα εξετάσουμε τα ιστορικά στοιχεία, που αφορούν στο φαινόμενο του ηλεκτρισμού, τα πειράματα που οδήγησαν τους επιστήμονες στην αξιωματική του θεμελίωση, καθώς και τις πιο γνωστές και πρωτοπόρες εφευρέσεις οι οποίες έκαναν εφαρμογή του φαινομένου.

2.2 Πειράματα και εφευρέσεις

Οι αρχαίοι Έλληνες είναι οι πρώτοι που γνώρισαν την ιδιότητα του ηλεκτρισμού να έλκει διάφορα αντικείμενα. Πρώτος ο Θαλής ο Μιλήσιος, τον 7ο π.Χ. αι., παρατήρησε πως τρίβοντας το ήλεκτρο (κεχριμπάρι) πάνω σε μάλλινο ύφασμα, αποχτούσε αυτό την ιδιότητα να έλκει διάφορα ελαφρά σώματα, όπως μικρά κομματάκια χαρτιού, λεπτά φύλλα χρυσού κ.λπ. Ήταν γνωστή επίσης στους αρχαίους Έλληνες η ιδιότητα ενός ψαριού, της μαρμαιρούσας (μουδιάστρας), να δημιουργεί με τα χτυπήματά της ηλεκτρικές εκκενώσεις. Μάλιστα αναφέρεται ότι ο Αριστοτέλης υπήρξε ο πρόδρομος των λεγόμενων σήμερα μέσων ηλεκτροθεραπείας. Χρησιμοποίησε τα χτυπήματα του ψαριού αυτού και θεράπευσε κάποιον που έπασχε από αρθριτικά. Η εποχή του Μεσαίωνα δεν πρόσφερε τίποτε στον τομέα αυτό της Φυσικής. Την παρατήρηση του Θαλή, επανέλαβε ο γιατρός της βασιλίσσας της Αγγλίας Γκίλμπερτ (1544–1603) και με άλλα σώματα, όπως το γυαλί, τη ρητίνη, το θείο, τα οποία ονόμασε ιδιοηλεκτρικά και τ' άλλα σώματα, όπως τα μέταλλα, που ονόμασε ανηλεκτρικά. Τα πρώτα

είναι τα λεγόμενα μονωτικά ή κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και τα δεύτερα είναι οι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

Την πρώτη ηλεκτρική μηχανή την κατασκεύασε ο Ότο φον Γκέρικε (1602-1688), δήμαρχος του Μαγδεβούργου. Αυτός έκανε μια σφαίρα από θειάφι που περιστρεφόταν, πάνω στην οποία έβαζε ένα άτομο τα χέρια του για την ανάλογη τριβή. Με την τριβή αυτή παραγόταν ηλεκτρικός σπινθήρας. Πρώτος που μετέφερε με επιτυχία ηλεκτρική ενέργεια είναι ο Γκρέι (1670-1736) και συνέχισε την εργασία του ο Ντι Φε (1689 -1739) που ανακάλυψε την ιδιότητα της ηλεκτρίσεως όλων των σωμάτων. Αυτός χρησιμοποίησε τους όρους υαλώδης και ρητινώδης ηλεκτρισμός που μετονομάστηκαν από το Βενιαμίν Φραγκλίνο σε θετικός και αρνητικός ηλεκτρισμός αντίστοιχα.

Με την πάροδο του χρόνου οι πειραματιστές του ηλεκτρισμού άρχισαν να καταλαμβάνουν θέσεις στα Πανεπιστήμια της εποχής. Συνηθέστερα πειράματα ήταν αυτά με το «ηλεκτρισμένο παιδί» του Γκράιου, το απότομο τράβηγμα μεταξωτού γαντιού από το χέρι σε σκοτάδι, το οποίο συνοδευόταν από τσιριχτό ήχο και λάμψη, η μαζική ηλεκτρική ομάδα ανθρώπων που πιάνονταν από τα χέρια και αποδείκνυαν ότι ο ηλεκτρισμός «μεταφέρεται», ο χαρταετός του Φραγκλίνου (βλέπε επόμενα) κ.ά. Αρχικά έπρεπε οι πειραματιστές να κατασκευάσουν ή να αγοράσουν με δικά τους χρήματα τις συσκευές επιδείξεως, αργότερα άρχισαν τα Πανεπιστήμια να εξαγοράζουν αυτές τις συσκευές για να χρησιμοποιηθούν από το διάδοχο του αποχωρούντα πειραματιστή.

Ο Benjamin Franklin (Φραγκλίνος, 1706-1790) προσπάθησε να διατυπώσει μια εναλλακτική άποψη που στηριζόταν στις ιδέες του Νεύτωνα: Μία μοναδική *ηλεκτρική ατμόσφαιρα* προκαλούσε έλξη ή άπωση με μηχανική πίεση, κάτι σαν *βαρυτικός αιθέρας*. Το 1743 παρακολούθησε ο Φραγκλίνος το πείραμα του Γκράιου με το ηλεκτρισμένο αγόρι που κρεμόταν από μεταξωτά σκοινιά και αργότερα διηγήθηκε ότι του δημιουργήθηκε η εντύπωση πως «ένα είδος φωτιάς διαχεόταν σε ολόκληρο το χώρο».

Περί το 1745 δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό *Gentleman's Magazine* εντυπωσιακές περιγραφές ηλεκτρικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στη Γερμανία. Ίσως από αυτές τις περιγραφές εντυπωσιασμένος, ασχολήθηκε ο Φραγκλίνος προσεκτικότερα με ηλεκτρικά πειράματα και το 1747 ανακοίνωσε την ιδιότητα αιχμηρών αγωγών να «σύρουν προς τα έξω και να αφαιρούν το ηλεκτρικό πυρ». Επρόκειτο προφανώς για ακίδες σε ηλεκτροστατικό πεδίο, γύρω από τις οποίες, όπως γνωρίζουμε σήμερα, το πεδίο είναι ιδιαίτερα ισχυρό κι έτσι προκαλείται σπινθήρας, εφόσον έχουν γειωθεί. Από την εικόνα του σπινθήρα σε σκοτεινό δωμάτιο συμπέρανε ο Φραγκλίνος ότι αντίστοιχα πρέπει να συμβαίνει και με τον κεραυνό. Το 1749 άρχισε πειράματα με αστραπές και το 1752 πραγματοποίησε το θρυλικό πείραμά του με το χαρταετό. Ο αετός αυτός είχε στο πλαισίό του στερεωμένο ένα σύρμα που συνδεόταν μέσω βρεγμένου σπάγγου με ένα κλειδί, το οποίο κρατούσε ο Φραγκλίνος με μια μεταξωτή κορδέλα. Έτσι, με το εξαιρετικά επικίνδυνο αυτό πείραμα (ηλεκτροπληξία!) κατάφερε αυτός ο πολύ σημαντικός ερευνητής, επιχειρηματίας και πολιτικός να «αφαιρέσει το ηλεκτρικό πυρ» από τα σύννεφα διοχετεύοντάς το στο υγρό έδαφος και να θεμελιώσει την ιδέα για το αλεξικέραυνο. Με αυτό τον τρόπο εξηγήθηκε αναδρομικά και ο ρόλος των χάλκινων ράβδων με χρυσές αιχμές στην κορυφή, τις οποίες τοποθετούσαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι γύρω από τους ναούς για να εξευμενίσουν την «οργή των θεών» ... Ανάλογα πειράματα με τον ηλεκτρισμό των νεφών είχαν γίνει γνωστά από Γάλλους και Γερμανούς ερευνητές που τα εκτελούσαν συνήθως με αμέλεια ή και άγνοια για τον τεράστιο κίνδυνο που περικλείουν τα πειράματα με ηλεκτρισμό. Το 1753 κεραυνοβολήθηκε και σκοτώθηκε ο Georg Richmann (Ρίχμαν, 1711-1753) σε μια επίδειξη στη Ρωσική Ακαδημία Επιστημών, γιατί δεν φρόντισε να μονώσει σωστά το χέρι του από το αγωγίμο μέσο. Μόλις επιβεβαιώθηκε η ικανότητα των αιχμηρών μέσων να «αφαιρούν το ηλεκτρικό πυρ» προέκυψε, άγνωστο πώς, μια συμπληρωματική θεωρία σύμφωνα με την οποία, κατ' αναλογία τα αμβλέα σώματα απωθούσαν τον κεραυνό και γι' αυτό έπρεπε να τοποθετηθούν *κάτω από τη σκεπή*. Τελικά τα πειράματα απέδειξαν ότι

σημαντικότερος παράγοντας ήταν το ύψος, στο οποίο βρισκόταν το μεταλλικό σώμα που «αφαιρούσε το πυρ» παρά το σχήμα του.

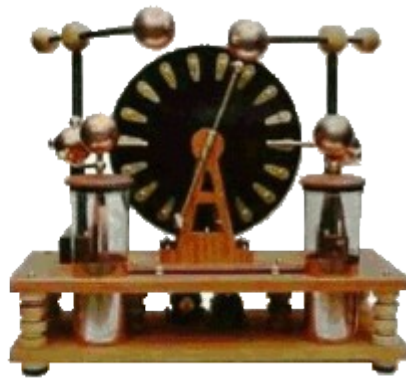
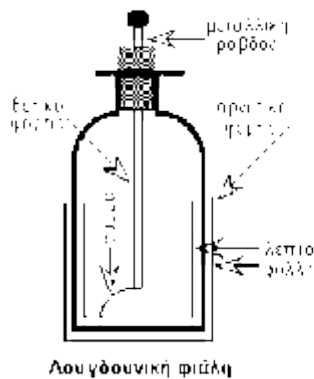
Το αλεξικέραυνο ήταν η πρώτη σημαντική και άμεσα αξιοποιήσιμη εφεύρεση μετά το Μεσαίωνα και με αυτήν επιβεβαιωνόταν η πρόβλεψη του Francis Bacon ότι η επιστήμη θα οδηγούσε, σε αντίθεση με το παρελθόν, σε νέα και χρήσιμη τεχνολογία.

Άλλα σημαντικά πειράματα του Φραγκλίνου που δεν εντυπωσίαζαν όμως όπως το αλεξικέραυνο, ήταν η μελέτη «μεταφοράς» του ηλεκτρισμού, όταν ο φορέας ήταν μονωμένος. Οι άνθρωποι που συμμετείχαν στα πειράματα πατούσαν επάνω σε κεριά και δεν είχαν άλλη επαφή με το έδαφος. Το συμπέρασμα ήταν ότι πρέπει να υπήρχε ένα μόνο ηλεκτρικό ρευστό, το οποίο μεταβιβαζόταν σε κάθε άτομο που ήταν μονωμένο. Κατά τη μεταφορά του ηλεκτρισμού, έλεγε ο Φραγκλίνος, το άτομο που είναι ηλεκτρισμένο έχει *περίσσειμα* του ηλεκτρικού ρευστού και το άλλο άτομο που παρέδωσε τον ηλεκτρισμό, έχει *έλλειμμα* του ρευστού. Όποιος έχει περίσσειμα ηλεκτρισμού, είναι *θετικά φορτισμένος* και όποιος έχει έλλειμμα είναι *αρνητικά φορτισμένος*. Σήμερα ονομάζουμε αρνητικά φορτισμένο το σώμα που έχει *περίσσειμα ηλεκτρονίων* ή *έλλειμμα οπών* και αντιστρόφως.

Σ' αυτά και άλλα όμοια πειράματα χρησιμοποιείτο η μηχανή ηλεκτρίσεως που παρήγαγε ηλεκτρισμό με τριβή. Βασικό πρόβλημα αυτής της μηχανής ήταν ότι, όσο υψηλή τάση κι αν δημιουργείτο (με σημερινή ορολογία: μερικές χιλιάδες βολτ), η παρεχόμενη ισχύς δεν ήταν σταθερή (ασταθές ρεύμα), οπότε ήταν ακατάλληλη για πραγματοποίηση πειραμάτων υπό σταθερές συνθήκες.

Η λουγδουνική φιάλη

Η πιο εντυπωσιακή επινόηση του 18ου αιώνα στη μελέτη του ηλεκτρισμού ήταν αυτή του Ewald Georg Kleist (Κλάιστ, 1700–1748), η οποία περιγράφηκε όμως διεξοδικά από τον Pieter van Musschenbroek και γι' αυτό πήρε το όνομα της ολλανδικής πόλης Λούγδουνο (Leyden). Ο Μούσενμπρουκ περιγράφει το έτος 1746 το «φοβερό κτύπημα» που δέχτηκε από μια φιάλη, γεμάτη με νερό, στην οποία είχε μεταφερθεί «ηλεκτρικό πυρ». Προφανώς επρόκειτο για ένα πυκνωτή, ο οποίος αποθήκευε τον ηλεκτρισμό. Δεν άργησε δε πολύ να κατασκευαστούν συστοιχίες λουγδουνικών φιαλών, δηλαδή διατάξεις παράλληλων ή επάλληλων πυκνωτών, οι οποίες ήταν σε θέση να αποθηκεύσουν πολύ σημαντικές ποσότητες ηλεκτρισμού. Με τη λουγδουνική φιάλη ενισχύθηκαν το φορτίο ή η δημιουργούμενη τάση, αλλά παρέμενε ασταθής η παρεχόμενη ισχύς.



Διάφοροι πειραματιστές χρησιμοποιούσαν τη λουγδουνική φιάλη για επιδείξεις, συχνά με τεράστιο κίνδυνο για τους συμμετέχοντες. Ο πειραματιστής και δάσκαλος της Φυσικής Jean Antoine Nollet (Νολέ, 1700–1770) ηλέκτρισε για τη διασκέδαση του βασιλιά Λουδοβίκου xv και των αυλικών του, μια φορά 180 χωροφύλακες και μια άλλη φορά 200 μοναχούς και περιγράφει το αποτέλεσμα ως εξής: «Είναι μοναδικό να βλέπεις την ποικιλία των διαφορετικών χειρονομιών και να ακούς τις ξαφνικές κραυγές όσων αιφνιδιάζονταν από το τράνταγμα του ηλεκτρισμού». Ηλεκτροσόκ για την ψυχαγωγία των «αριστοκρατών»!

Το φάσμα των «καλλιεργητών» της νέας επιστήμης του Ηλεκτρισμού ήταν πολύχρωμο και ετερόκλητο. Από σεβαστούς φυσιοδίφες, μέχρι τσαρλατάνους ολκής, όπως ο Λονδρέζος James Graham που δημιούργησε ένα Κέντρο Υγείας (Temple of Health) και γιάτρευε πάσαν νόσον, παραπλανώντας τους αφελείς. Ανάμεσα στα δύο αυτά άκρα υπήρχε ένα πλήθος ερασιτεχνών, το οποίο επαναλάμβανε τα γνωστά πειράματα, άλλοτε σε σαλόνια συναναστροφών για επίδειξη και άλλοτε σε εργαστήρια για επιβεβαίωση και μελέτη, συχνά δε δυσφημώντας ταυτόχρονα άλλους ερευνητές που ισχυρίζονταν διαφορετικά πράγματα για τη φύση και τις εφαρμογές του Ηλεκτρισμού.

Αυτό που παραξένευε τους ερευνητές της εποχής ήταν ο φορέας του ηλεκτρισμού, ένας «αιθέρας» που πιθανόν να περιέβαλε τα ηλεκτρισμένα σώματα. Ο Φραγκλίνος έκανε πειράματα με καπνό για να εντοπίσει αυτό τον αιθέρα, ο Νολέ χρησιμοποιούσε σκόνη. Η συμπεριφορά του γυαλιού ήταν επίσης ακατανόητη: Πέρναγε η «ηλεκτρική αναθυμίαση» μέσα από το γυαλί ή όχι; Οι πειραματιστές είχαν φτάσει σε απόγνωση, γιατί ενώ η εφαρμογή ηλεκτρικών δυνάμεων ήταν δυνατή μέσα από χοντρό γυαλί, σταματούσε αμέσως μόλις παρεμβιλλόταν ένα λεπτό βρεγμένο ύφασμα.

Στην πορεία των πειραματισμών κατασκευάστηκαν κι άλλοι τύποι λουγδουνικής φιάλης από τους Franz Aepinus, Johann Wilke (1762) και Volta (1775). Ειδικότερα ο Alessandro Volta (Βόλτα, 1745–1827) κατασκεύασε ένα *αέναο ηλεκτροφόρο* (elektroforo perpetuo), που ήταν, με σημερινή ορολογία, ένας πυκνωτής με ρητίνη και κερί ως μονωτικά υλικά. Αυτό το «ηλεκτροφόρο» αποτελούσε μια φαινομενικά διαρκή πηγή ηλεκτρισμού. Επειδή ο ηλεκτρισμός της διάταξης φαινόταν ανεξάντλητος, ο Βόλτα συμπέρανε ότι κανένας αιθέρας και καμιά ατμόσφαιρα δεν υπήρχε, γιατί θα είχαν εξαντληθεί.

Την ίδια εποχή άρχισε η προσπάθεια για μέτρηση των μεγεθών του ηλεκτρισμού, αλλά

βεβαίως ήταν άγνωστο τί και πώς θα μετρηθεί. Για να γίνει αυτό δυνατόν ήταν απαραίτητη μια θεωρία που συσχέτιζε τη δύναμη, το ηλεκτρικό πυρ, το μέγεθος της λουγδουνικής φιάλης και την ένταση του τραντάγματος, αλλά τέτοια θεωρία έλειπε. Το ηλεκτροσκόπιο έδειχνε απλώς αν υπάρχει ηλεκτρισμός και η γωνία που σχημάτιζαν μεταξύ τους τα δύο φύλλα χρυσού ήταν ενδεικτική της ποσότητας. Το όργανο δεν λειτουργούσε γραμμικά και στη λειτουργία του έπαιζε ρόλο το βάρος των φύλλων χρυσού. Οι ερευνητές του 18ου αιώνα πίστευαν ότι η λειτουργία της λουγδουνικής φιάλης αντιστοιχούσε περίπου με αυτή ενός κανονιού: Ο πειραματιστής «γέμιζε» και «πυροδοτούσε» μια φιάλη, όπως γινόταν στο πυροβολικό.

Το 1788 ο Βόλτα διατύπωσε την άποψη ότι το φορτίο σε μία λουγδουνική φιάλη είναι ανάλογο προς την *ένταση του ηλεκτρισμού* (σήμερα λέμε την *τάση*) και προς την περιεκτικότητα της φιάλης (σήμερα μιλάμε για τη *χωρητικότητα* του πυκνωτή). Αυτή η σχέση γράφεται σήμερα στη μορφή $Q = CU$ και είναι ουσιαστικά η πρώτη εξίσωση για ποσοτικοποίηση του ηλεκτρισμού. Ο Βόλτα δεν κατάφερε όμως να την επιβεβαιώσει, γιατί δεν είχε κατάλληλα όργανα στη διάθεσή του. Καλύτερη τύχη είχαν οι προσπάθειες να μετρηθεί η ηλεκτρική δύναμη. Ο John Robinson (Ρόμπινσον, 1739–1805) δημιούργησε ισορροπία μεταξύ ηλεκτρικής άπωσης και βαρυτικής έλξης και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι δύο αυτές δυνάμεις είχαν ανάλογη συμπεριφορά. Το 1785 χρησιμοποίησε ο Charles Augustin de Coulomb (Κουλόμπ, 1736–1806) ένα σπειροειδές σύρμα (συστροφικός ζυγός) για να αντισταθμίσει την ηλεκτρική δύναμη. Η ακρίβεια στις μετρήσεις του Κουλόμπ έθεσε νέα πρότυπα στην πειραματική φυσική. Σημαντικότερους από τους ερευνητές της εποχής πρέπει να θεωρείται όμως ο Henry Cavendish (Κάβεντις, 1731–1810), ο οποίος απέφευγε όμως τους «ερασιτέχνες» και απευθυνόταν στους μυημένους, με αποτέλεσμα να μην γίνει αρκετά γνωστός. Ο Κάβεντις μέτρησε την ηλεκτρική δύναμη ήδη το 1771 και έκανε και την πρώτη μαθηματική ανάλυση του πειραματικού σφάλματος. Για να μετρήσει ηλεκτρικά μεγέθη, έκανε διάφορες συνδέσεις με σύρματα διαφορετικών μηκών και συνέδεε τον εαυτό του παράλληλα με αυτά. Από το τράνταγμα που δεχόταν το σώμα του κατέγραφε τις τιμές της αντίστασης των αγωγών.

Το ηλεκτρικό ρεύμα

Στα τέλη του 18ου αιώνα, ο οποίος άρχισε με το «βαρομετρικό φως», ανακαλύφθηκε το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο Luigi Galvani (Γαλβάνι, 1737–1798), καθηγητής ανατομίας στο πανεπιστήμιο της Μπολόνια, παρατήρησε ότι όταν η λάμα του νυστεριού του άγγιζε το μηριαίο νεύρο ενός βατράχου, τον οποίο έκοβε εκείνη τη στιγμή, το πόδι τινάζοταν και μάλιστα στο ρυθμό μιας ηλεκτροστατικής μηχανής που σπινθήριζε στο εργαστήριο. Αρχικά υπέθεσε ο Γαλβάνι ότι ανακάλυψε ένα νέο είδος ηλεκτρισμού, ζωικής προέλευσης. Όταν όμως κρέμασε τα πόδια του βατράχου με ορειχάλκινα τσιγκέλια σε σιδερένιο πλαίσιο για να διαπιστώσει αν τα πόδια έλκουν τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό, τα πόδια τινάζονταν, όταν πίεζε τα τσιγκέλια στο πλαίσιο. Αν τα τσιγκέλια ήταν επίσης από σίδηρο, δεν παρουσιαζόταν τίναγμα, με δύο μέταλλα επαναλαμβανόταν όμως το φαινόμενο. Ο Γαλβάνι προσπαθούσε να εξηγήσει το μυστήριο τίναγμα των βατραχοπόδαρων με πιθανές ιδιαιτερότητες στην ανατομία του βατράχου. Ο Βόλτα που πληροφορήθηκε για το φαινόμενο, αγνοούσε τυχόν ιδιομορφίες του βατράχου, υπέθεσε όμως ότι η επαφή των δύο μετάλλων ήταν αυτή που δημιουργούσε το φαινόμενο και ότι τα βατραχοπόδαρα ήταν απλώς ανιχνευτές του ηλεκτρισμού. Για να κάνει πιο εμφανές το φαινόμενο, δημιούργησε ο Βόλτα επάλληλες επαφές πολλών μεταλλικών συνδέσεων. Αρχικά δεν πήρε ικανοποιητικά αποτελέσματα, μέχρι που δοκίμασε το συνδυασμό αργύρου και ψευδαργύρου, διαχωρίζοντας κάθε ζεύγος των δύο μετάλλων με ένα βρεγμένο χαρτόνι. Αποτέλεσμα ήταν να παραχθεί ηλεκτρισμός, όχι όμως πια με τη μορφή σπινθήρα, όπως

στη λουγδουνική φιάλη, αλλά με σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα. Η βολταϊκή στήλη ή το γαλβανικό στοιχείο, όπως ονομάστηκε αυτή η εφεύρεση του Βόλτα, βελτιώθηκε σύντομα από τον ίδιο και άλλους ερευνητές και χρησιμοποιήθηκε για τη διάσπαση του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο (ηλεκτροχημεία) και στη μελέτη άλλων ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Με επάλληλη σύνδεση πολλών ίδιων στοιχείων δημιουργήθηκε μια συστοιχία (μπαταρία) που έδινε αντίστοιχα υψηλή τάση. Η παράλληλη σύνδεση τέτοιων στοιχείων έδινε ισχυρότερα ρεύματα. Από εκεί και πέρα ήταν πια εύκολο να δημιουργηθεί με πολλαπλά επάλληλα και παράλληλα στοιχεία μία πηγή με τάση και ρεύμα σε προκαθορισμένα επίπεδα. Η έναρξη χρήσης της βολταϊκής στήλης το έτος 1800, ακριβώς 200 χρόνια μετά τη δημοσίευση του βιβλίου του Τζίλμπερτ, σηματοδοτεί ουσιαστικά την είσοδο στον τομέα του ηλεκτρομαγνητισμού.

Το βολταϊκό στοιχείο βελτιώθηκε σημαντικά μερικές δεκαετίες αργότερα. Ο φυσικός John Daniell (Ντάνιελ, 1790–1845) παρουσίασε το 1837 μία κατασκευή από ένα γυάλινο δοχείο, γεμάτο με αραιωμένο θειικό οξύ. Σ' αυτό το διάλυμα βρίσκεται ένας κύλινδρος από ψευδάργυρο (αρνητικός πόλος) και μέσα στον κύλινδρο είναι τοποθετημένο ένα ημιδιαπερατό δοχείο με θειικό χαλκό. Σ' αυτόν είναι βυθισμένη μία χάλκινη ράβδος (θετικός πόλος). Μία παραλλαγή του στοιχείου Ντάνιελ παρουσιάστηκε και από τον φυσικό Robert Wilhelm Bunsen (Μπούνζεν, 1811–1899). Ένα ακόμα στοιχείο ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε το 1842 από τον Johann C. Poggendorf (Πόγκεντορφ, 1796–1877). Αυτό το στοιχείο αποτελείτο από δύο πλάκες άνθρακα βυθισμένες σε οξύ χρωμίου και ανάμεσά τους μία πλάκα ψευδαργύρου. Σε περίπτωση που η διάταξη ήταν εκτός λειτουργίας, αφαιρείτο για λόγους οικονομίας η πλάκα ψευδαργύρου.

Η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Το έτος 1866 έκανε ο Ζήμενς δοκιμές με τον κινητήρα δυναμό, ο οποίος είχε ως πηγή τροφοδοσίας τις γνωστές μπαταρίες. Μία από τις παρατηρήσεις του αφορούσε το απορροφόμενο από τον κινητήρα ρεύμα, το οποίο μειωνόταν με αυξανόμενο αριθμό στροφών, λόγω της αντιεκτρεγερτικής δύναμης του δρομέα. Αυτό το φαινόμενο οδήγησε τον Ζήμενς στην ιδέα να αντιστρέψει τη φορά περιστροφής του δρομέα με εξωτερική κίνηση, αρχικά χειροκίνητα με μανιβέλα. Αποτέλεσμα ήταν να προκύψει η λειτουργία της ηλεκτρικής γεννήτριας που οφείλεται στον παραμένοντα μαγνητισμό του σιδήρου. Αυτό το ασθενές υπόλοιπο μαγνητισμού επάγει με την περιστροφή του δρομέα ένα ασθενές ρεύμα, το οποίο ενισχύει το μαγνητισμό και ο οποίος, με τη σειρά του, ενισχύει και πάλι το ρεύμα κ.ο.κ. Αυτή η αλληλοκλιμάκωση διαρκεί μέχρι του σημείου τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης της γεννήτριας και της ευθείας του συνδεόμενου φορτίου. Η μηχανή αυτή ονομάστηκε γεννήτρια σε σύνδεση σειράς, επειδή τα πηνία του δρομέα και του ροοστάτη ήταν επάλληλα ή σε σειρά συνδεδεμένα. Η παρουσίαση αυτής της νέας κατασκευής έγινε στην Ακαδημία Επιστημών στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 1867.

Ο Γουϊτστόουν παρουσίασε το ίδιο έτος μία άλλη μηχανή, φαινομενικά διαφορετική, η οποία στηριζόταν σε μια επινόηση του μηχανικού H. Wilde. Από την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της διαπιστώθηκε ότι επρόκειτο για την ίδια περίπου γεννήτρια με αυτή του Ζήμενς, μόνο που τα δύο πηνία ήταν παράλληλα συνδεδεμένα και είχε κάποια διαφορετικά χαρακτηριστικά τυλιγμάτων. Μία διένεξη μεταξύ των δύο εφευρετών που

ανέκυψε για την «πρωτιά» έπαιξε μόνο δευτερεύοντα ρόλο, αφού επισκιάστηκε από το πολύ σημαντικότερο γεγονός ότι επιτέλους ήταν πια δυνατή η απελευθέρωση από τις ηλεκτροχημικές πηγές. Με κινητήρια μια ατμομηχανή ήταν πλέον δυνατόν να εγκαθίστανται ηλεκτρογεννήτριες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεννήτρια του Ζήμενς δημιουργούσε το συνεχές ρεύμα σε παλμική μορφή και ο συλλέκτης παρουσίαζε σπινθηρισμούς. Το έτος 1869 κατασκεύασε ο μηχανικός Zenobe Theophile Gramme (Γκραμ, 1826–1901) μία γεννήτρια με δακτυλιοειδή δρομέα, με τον οποίο μειώνονταν τα προαναφερόμενα προβλήματα, αλλά προκαλούσε νεότερα, τα οποία λύθηκαν το 1872 με παρέμβαση του Friedrich von Hefner-Alteneck (Χέφνερ, 1845–1904).

τα επόμενα 20 χρόνια κατασκευάζονταν οι γεννήτριες Σ.Ρ. με αυτά τα κατασκευαστικά στοιχεία.

Μια ενδιαφέρουσα κατασκευή της δεκαετίας του 1880 ήταν ένα «ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος», το οποίο μεταφερόταν με άλογα στον τόπο φωτισμού και μια ατμομηχανή κινούσε την ηλεκτρική γεννήτρια. Η παρεχόμενη στη λάμπα ισχύς ήταν 4kW. Αυτά τα ζεύγη λειτουργούσαν μέχρι και τη δεύτερη δεκαετία του 20ου αιώνα, αρχικά σε πόλεις και, όταν τοποθετήθηκαν εκεί ηλεκτρικά δίκτυα.

Συνεχές ή Εναλλασσόμενο ρεύμα;

Ο περιστρεφόμενος δρομέας της γεννήτριας ήταν δυνατόν να παρέχει συνεχές (ΣΡ) ή εναλλασσόμενο (ΕΡ) ρεύμα, ανάλογα, αν στο άξονα είχαν εγκατασταθεί δακτύλιοι τριβής ή αντιμεταθέτες. Επειδή όλες οι σημαντικές τεχνικές εφαρμογές απαιτούσαν ΣΡ (ηλεκτρόλυση, φόρτιση μπαταριών, φωτισμός με λυχνίες βολταϊκού τόξου κ.ά.), η παραγωγή του ΕΡ δεν έπαιζε κάποιο ρόλο. Η γεννήτρια παραγωγής βρισκόταν δίπλα στην κατανάλωση, οπότε την εποχή εκείνη δεν είχε προκύψει πρακτικά το πρόβλημα της τάσης κατά τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές μεγάλου μήκους, αν και ήταν γνωστό θεωρητικά. Γνωστή ήταν επίσης ήδη η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή, χωρίς να υπάρχει ακόμα ζήτηση γι' αυτές τις μηχανές. Παρ' όλα αυτά, η συζήτηση για τη σκοπιμότητα ΣΡ ή ΕΡ ήταν έντονη, γιατί όλοι αναγνώριζαν τη μελλοντική σημασία και τις τεχνικές και οικονομικές επιπτώσεις κάθε επιλογής. Οι Edison, λόρδος Kelvin και Werner Siemens ήταν υπέρ του ΣΡ, άλλοι λιγότερο διάσημοι προτιμούσαν το ΕΡ. Τελικά και όταν ο χρόνος έφερε ηρεμία στους προσωπικούς εγωισμούς, εκτιμήθηκε ότι ήταν συμφερότερο το σύστημα του ΕΡ. Οι εξελίξεις έδειξαν μετά από μερικές δεκαετίες ότι αυτή η επιλογή ήταν σωστή και, μερικές χώρες ή πολιτείες που επέλεξαν αρχικά το ΣΡ, ακολούθησαν καθυστερημένα και με σημαντικό κόστος αλλαγών το εναλλασσόμενο ρεύμα. Με τη διάδοση της ηλεκτρικής γεννήτριας επεκτάθηκε και η χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων, οι οποίοι ήταν κατά πολύ μικρότεροι και φθηνότεροι από τις ατμομηχανές κι έτσι αφαίρεσαν από εργαζόμενους βαρειές και ανθυγιεινές εργασίες. Σύντομα ήρθε όμως στο προσκήνιο οι μηχανές εσωτερικής καύσης οπότε, αφενός αντικαταστάθηκαν μέχρις εξαφανίσεως οι ατμομηχανές από τις παραγωγικές διαδικασίες, αφετέρου είχαν οι ηλεκτροκινητήρες ανταγωνισμό σε διάφορες εφαρμογές.

Το στοιχείο Leclanche

Το έτος 1867 ο μηχανικός Georges Leclanche (Λεκλανσέ, 1839–1882) παρουσίασε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο νέας μορφής. Αποτελείτο από ένα ηλεκτρόδιο επεξεργασμένου ψευδάργυρου (αρνητικός πόλος), ένα υδατικό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου, σκόνη άνθρακα και ένα ηλεκτρόδιο άνθρακα (θετικός πόλος). Το στοιχείο αυτό παρείχε τάση

περίπου 1,5V και, μετά από διάφορες βελτιώσεις, κατέληξε στα ξηρά στοιχεία που χρησιμοποιούμε μέχρι σήμερα, χωρίς κίνδυνο διαρροής υγρών κτλ.

Η ανάπτυξη αυτής της μπαταρίας ήταν περιπετειώδης, δεδομένου ότι ο Λεκλανσέ είχε εξοριστεί στο Βέλγιο, μαζί με το φίλο του συγγραφέα Βίκτωρα Ουγκώ, λόγω των πολιτικών συγκρούσεων γύρω από την πολιτική του Ναολέοντα Γ' στο Μεξικό. Γι' αυτό και όλες οι εργαστηριακές διατάξεις αυτού του ερευνητή, στις οποίες ανέπτυξε το ξηρό στοιχείο, βρίσκονται σήμερα στο μουσείο των Βρυξελλών. Την εμπορική επιτυχία της μπαταρίας του Λεκλανσέ ευνόησε η συγκυρία του τηλεφώνου, το οποίο απαιτούσε τροφοδοσία και δεν υπήρχαν ακόμα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το φαινόμενο Kerr

Το έτος 1875 ο Φυσικός John Kerr (Κερ, 1824–1907) ένα φαινόμενο που πήρε το όνομά του, αλλά έμεινε για πολλά χρόνια αναξιοποίητο. Πρόκειται για τη διαπερατότητα του φωτός σε ορισμένα υγρά, η οποία μεταβάλλεται όταν δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό αξιοποιήθηκε αρκετές δεκαετίες αργότερα στην εφεύρεση Phonofilm του Lee de Forest για την πραγματοποίηση του ομιλούντος κινηματογράφου και στο τηλεοπτικό σύστημα του Karolus το έτος 1925.

Το τηλέφωνο

Το έτος 1875 επαναλήφθηκε η ιστορία με τον Μορς και τον τηλέγραφο: Ένας φαινομενικά άσχετος με την Τεχνική, ο καθηγητής φυσιολογίας της φωνής, Alexander Graham Bell (Μπελ, 1847–1922), παρουσίασε ένα σύστημα τηλεμετάδοσης της ανθρώπινης ομιλίας, ένα τηλέφωνο. Για την ακρίβεια, ο Μπελ επινόησε τον ηλεκτρομαγνητικό μετατροπέα ήχου. στο στενό σημείο ενός χωνιού τοποθέτησε μια λεπτή μεταλλική μεμβράνη και ακριβώς δίπλα της βρισκόταν ένα πηνίο, τυλιγμένο σε μία μαγνητική ράβδο. Οι ταλαντώσεις της μεμβράνης από τα ηχητικά κύματα παρήγαγαν στο πηνίο ασθενή ηλεκτρική τάση. Στην άλλη άκρη η ίδια διάταξη λειτουργούσε ως μεγάφωνο. Οι μεταβολές του ρεύματος στο πηνίο προκαλούσαν ταλαντώσεις στη μεμβράνη, η οποία δημιουργούσε έτσι ηχητικά κύματα. Επειδή σε κάθε πλευρά της τηλεφωνικής γραμμής λειτουργούσε ένα μόνο σύστημα ηλεκτρομαγνητικού μετατροπέα ήχου, έπρεπε ο χρήστης να τοποθετεί το χωνί, άλλοτε στο αυτί για να ακούσει και άλλοτε στο στόμα για να μιλήσει. Η συσκευή αυτή βελτιώθηκε σύντομα από πολλούς τεχνικούς και αποτέλεσε το πρώτο τηλεφωνικό σύστημα με ικανοποιητική λειτουργία. Όμοια τηλεφωνικά συστήματα είχαν παρουσιάσει κατά καιρούς, ήδη από το 1860 διάφοροι τεχνικοί, τα οποία όμως δεν γίνονταν αποδεκτά, το πρώτο δε του Philipp Reis (Ράις) θεωρήθηκε παιδικό παιχνίδι. Αλλά και για το τηλέφωνο του Μπελ, όταν αυτό είχε ήδη βελτιωθεί σημαντικά, γνωμοδότησε το έτος 1876 η εταιρία συμβούλων Western Union Finance Services: «Αυτή η συσκευή έχει τόσες ελλείψεις ώστε πρέπει να θεωρείται ακατάλληλη ως μέσο επικοινωνίας. Αυτό το πράγμα δεν έχει καμία αξία». Είκοσι χρόνια αργότερα, το έτος 1896, όταν ο Μπελ αγωνιζόταν να επιδείξει το τηλέφωνο σε αρχιμηχανικό της βρετανικής τηλεγραφικής εταιρίας, πήρε την απάντηση: «Όχι κύριέ μου, μπορεί οι Αμερικάνοι να χρειάζονται το τηλέφωνο, αλλά εμείς στην Αγγλία δεν το χρειαζόμαστε! Έχουμε πολλούς κλητήρες!» Η εφεύρεση του Μπελ ήταν η αρχή για μία ραγδαία εξέλιξη της τηλεφωνίας. Ήδη το έτος 1878 ιδρύθηκε στο New Haven των ΗΠΑ το πρώτο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο με 21 συνδρομητές. Το 1881 εγκαταστάθηκε το πρώτο τηλεφωνικό δίκτυο της Ευρώπης στο Άμστερνταμ με 49 συνδρομητές. Στα πρώτα χρόνια λειτουργούσαν όλα τα τηλεφωνικά δίκτυα με κλήση στο κέντρο και παραγγελία της

σύνδεσης. Συγκεκριμένα, αν ήθελε κάποιος να τηλεφωνήσει, σήκωνε το ακουστικό και γύριζε τη μανιβέλα του επαγωγέα. Με αυτό τον τρόπο έφτανε ένα σήμα στην τηλεφωνήτρια, η οποία μετέτρεπε την παραγγελία για επικοινωνία με κάποιο συμδρομητή σε σύνδεση στον κεντρικό τηλεφωνικό πίνακα. Η αυτόματη τηλεφωνία άρχισε να λειτουργεί κάποια χρόνια αργότερα και διαδόθηκε σταδιακά. Από το 1895 λειτούργησε η πρώτη διεθνής σύνδεση μεταξύ Ολλανδίας και Βελγίου. Η εξέλιξη από εκείνη την εποχή της τηλεφωνίας μέχρι τα σημερινά συστήματα κυψελοειδούς και δορυφορικής τηλεφωνίας είναι περίπου γνωστή.



Τηλεφωνικές συσκευές από τα χρόνια του Μπελ μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα.

Με την εξάπλωση των τηλεφωνικών δικτύων έγινε αναγκαία η τοποθέτηση υπόγειων καλωδίων πολλαπλών αγωγών. Εδώ προέκυψε όμως το πρόβλημα ότι η απόσβεση των σημάτων στα υπόγεια μονωμένα καλώδια ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη των εναέριων αγωγών. Αρχικά αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα μέχρι ενός σημείου με την τεχνητή αύξηση της αυτεπαγωγής των καλωδίων, σύμφωνα με μια πρόταση του Φυσικού Oliver Heaviside (Χεβυσάιτ, 1850–1925). Το έτος 1899 πρότεινε όμως ο σέρβικης καταγωγής Αμερικάνος Michael Pupin (Πουπίν, 1858–1935) ένα καλώδιο, στο οποίο σε συγκεκριμένες σταθερές αποστάσεις παρενέβαλε πηνία. Με αυτή τη μέθοδο βελτιώθηκε σημαντικά η συμπεριφορά των καλωδίων. Ο δίσκος στις τηλεφωνικές συσκευές για την επιλογή του αριθμού τηλεφώνου του άλλου συνδρομητή είναι επινόηση ενός διευθυντή γραφείου κηδειών (!), του Almon B. Stroege (1839–1902). Όλες οι εταιρίες της εποχής, ευρωπαϊκές και αμερικάνικες, εξαγόρασαν την ευρεσιτεχνία του ιδιότυπου κατασκευαστή και τη χρησιμοποίησαν στις συσκευές τους. Για τη βελτίωση της ποιότητας του μεταφερόμενου ήχου μέσω του τηλεφωνικού δικτύου, κατασκευάστηκαν σταδιακά βελτιωμένα μικρόφωνα και ακουστικά με τέτοια ικανοποιητική απόδοση, ώστε η εταιρία Siemens παρουσίασε περί το έτος 1900 μία τηλεφωνική συσκευή σε μικρογραφία, την οποία διέθεσε στην αγορά ως ακουστικά βαρυκοΐας.

Σ' αυτά τα ακουστικά δόθηκε το όνομα *φωνόφωνο*, το οποίο όμως δεν επικράτησε.

Ο φωνόγραφος

Το έτος 1877 ο ήδη ευρύτερα γνωστός εφευρέτης Thomas Alva Edison (Έντισον, 1847-1931), κατέθεσε αίτηση για απόκτηση τίτλου ευρεσιτεχνίας με θέμα μία συσκευή, την οποία ονόμασε φωνόγραφο (phonograph) και ήταν ο πρόδρομος του μεταγενέστερου γραμμοφώνου. Η συσκευή αυτή λειτουργούσε με ένα ξύλινο κύλινδρο που περιστρεφόταν χειρονακτικά με μανιβέλα και ο οποίος ήταν καλυμμένος με ένα λεπτό φύλλο κασσιτέρου (Staniol). Μία μεταλλική βελόνα ήταν σταθερά συνδεδεμένη με μια μεμβράνη, η οποία πραγματοποιούσε ταλαντώσεις λόγω ηχητικών κυμάτων, με αποτέλεσμα η βελόνα να δημιουργεί βαθουλώματα στο φύλλο κασσιτέρου, άλλοτε μεγαλύτερα και άλλοτε μικρότερα, ανάλογα με την ένταση του ήχου. Ένας μηχανικός οδηγός μετακινούσε τη βελόνα αξονικά στον κύλινδρο, ώστε τελικά προέκυπτε ένα σπειροειδές αυλάκι. Όταν γύριζε ο κύλινδρος και πέραγε η βελόνα πάνω από τη χαραγμένη επιφάνεια, προκαλούσαν τα βαθουλώματα ταλαντώσεις στη μεμβράνη, οι οποίες μετατρέπονταν σε ηχητικά κύματα.

Όπως περιγράφουν άρθρα εφημερίδων της εποχής, η απόδοση της συσκευής του Έντισον ήταν περίπου «άθλια», αλλά ο φωνόγραφος αυτός, τον οποίο ο εφευρέτης του ονόμαζε μηχανή έκανε τεράστια εντύπωση. Όταν όμως δοκίμαζε ο κόσμος την ποιότητα ήχου, εξανεμιζόταν ο ενθουσιασμός και θεωρούσε τη συσκευή ένα ακριβό παιχνίδι. Η τοποθέτηση του φύλλου κασσιτέρου ήταν περίπλοκη και η αντοχή του σε πολλαπλή χρήση περιορισμένη.

Το έτος 1881 προσπάθησε ο εφευρέτης του τηλεφώνου Μπελ να βελτιώσει το φωνόγραφο του Έντισον. Για το σκοπό αυτό κάλυψε τον ξύλινο κύλινδρο με κερί, πάνω στο οποίο θα χαρασσόταν το αυλάκι του ήχου. Η προσπάθεια αυτή έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, κυρίως όμως δεν περιείχε άσχετους θορύβους, όπως η κατασκευή του Έντισον. Το 1886 δήλωσε για ευρεσιτεχνία μια όμοια κατασκευή με επιστροφή κεριού στο κύλινδρο ο Charles Sumner Tainter (Ταϊντερ, 1854-1940) και το ονόμασε γραφόφωνο (graphophone). Εναντίον του Ταϊντερ κινήθηκε δικαστικά ο Έντισον, θεωρώντας ότι επρόκειτο για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας. Το 1888 αντικατέστησε ο ίδιος ο Έντισον το φύλλο κασσιτέρου με στρώμα σκληρού κεριού και τοποθέτησε στη συσκευή ένα μηχανικό κινητήρα με βαρύδι. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε ένας μηχανικός κινητήρας με ελατήριο και μανιβέλα για κούρδισμα και στη συνέχεια, σε μερικά μοντέλα, ένας ηλεκτρικός κινητήρας. Να σημειωθεί βέβαια ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες ήταν εκείνη την εποχή και για αρκετές δεκαετίες ακόμα ογκώδεις και ακριβοί. Για την ενίσχυση του ήχου χρησιμοποίησε ο Έντισον το χαρακτηριστικό χωνί που βλέπουμε στις εικόνες και φωτογραφίες του φωνογράφου.

Οι κύλινδροι του Έντισον περιείχαν μουσική ή ομιλία διάρκειας περίπου 2 λεπτών. Η νέα αυτή κατασκευή του Έντισον είχε εμπορική επιτυχία, γιατί προσφερόταν για ιδιωτική καταγραφή της φωνής. Για τη μαζική παραγωγή κυλίνδρων με σύντομες μελωδίες της εποχής ήταν όμως πολύ κοπιαστική εργασία, γιατί έπρεπε η ορχήστρα ή ο τραγουδιστής να επαναλαμβάνουν με μεγάλη ένταση την εκτέλεση του κομματιού μπροστά σε 7-8 φωνογράφους, οι οποίοι παρήγαγαν από ένα κύλινδρο. Μόλις το 1903 κατασκεύασε ο ίδιος ο Έντισον μια μηχανή, η οποία ήταν σε θέση να αντιγράφει έναν αρχικό κύλινδρο.

Το 1886 πρότεινε ο Emile Berliner (Μπερλίνερ, 1851-1929), Αμερικάνος από το Ανόβερο της Γερμανίας, να αντικατασταθεί ο κύλινδρος με «αυλάκι ήχου» του Έντισον, με μία επίπεδη πλάκα όπου, μετά από διάφορες βελτιώσεις, μία ελικοειδής διαδρομή σχημάτιζε ένα συνολικό αυλάκι σε όλη την επιφάνεια της πλάκας και η βελόνα έκανε ταλαντώσεις, εγκάρσια στην κίνηση. Ενώ δηλαδή η κεφαλή της συσκευής του Έντισον εκτελούσε κινήσεις πάνω-κάτω για να ανιχνεύσει τα βαθουλώματα της επιφάνειας, στη συσκευή του Μπερλίνερ έπαιζαν ρόλο τα τοιχώματα του αυλακιού και η βελόνα πραγματοποιούσε κινήσεις δεξιά-αριστερά. Έτσι, ξεπέρασε ο Μπερλίνερ και τον κίνδυνο να συρθεί ενώπιον δικαστηρίων για καταπάτηση ευρεσιτεχνιών του Έντισον. Ο Μπερλίνερ δήλωσε τη συσκευή του για ευρεσιτεχνία και την ονόμασε γραμμόφωνο (grammophone). Αυτή η

μέθοδος είχε δοκιμαστεί ήδη από τον Έντισον και από τον Μπελ, αλλά δεν κρίθηκε αξιοποιήσιμη. Να σημειωθεί δε ότι στα τέλη της δεκαετίας του 1950 συγχωνεύτηκαν από τις εταιρίες που τις εκμεταλλεύονταν οι ευρεσιτεχνίες του Έντισον και του Μπερλίνερ και έτσι προέκυψε η τεχνολογία των στερεοφωνικών δίσκων.

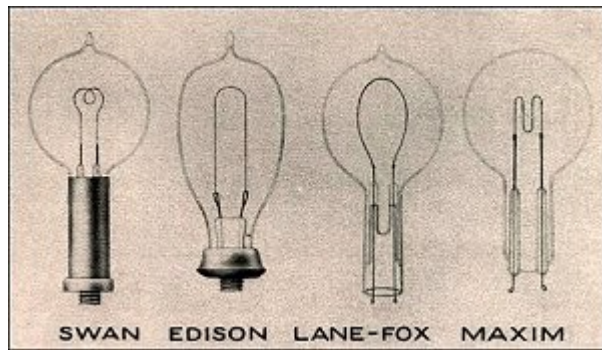
Ο δίσκος (πλάκα) του Μπερλίνερ, αρχικά με διάμετρο 12 cm που γύρναγε με 150 στροφές ανά λεπτό, πήρε σταδιακά τη μορφή που γνωρίζουμε μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα ως δίσκο βινυλίου. Το έτος 1901 κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά δίσκοι με διάμετρο 10" (~25 cm). Μέχρι τότε, οι δίσκοι ήταν μονόπλευροι και από την άλλη πλευρά είχαν διαδημιστικές ετικέτες, περίπου όπως είναι σήμερα τα CD και DVD. Το 1904 παρουσίασε η γερμανική εταιρία Odeon τον πρώτο δίσκο διπλής όψης με διαμέτρους 25 και 30 cm και διάρκεια μέχρι 5,5 λεπτά. Αν και τελικά επεβίωσε ακριβώς αυτή η μορφή ηχητικής αποθήκευσης και διατηρήθηκε μέχρι που άρχισε να αντικαθίσταται από τον οπτικό δίσκο (σύμπυκνος δίσκος, compact disk, CD), η ηχητική ποιότητα των δίσκων του Μπερλίνερ ήταν για μερικές δεκαετίες πολύ κατώτερη από αυτή των κυλίνδρων κεριού του Έντισον.

Με τη βελτίωση των ηλεκτρικών κινητήρων και την εισαγωγή του ηλεκτρονικού ενισχυτή, το γραμμόφωνο αντικαταστάθηκε σταδιακά από το ηλεκτρικό γραμμόφωνο που πήρε στην καθημερινή γλώσσα το όνομα pickup (=μαζεύω, συλλέγω, πικάπ). Εντωμεταξύ είχαν αξιοποιηθεί ο ηλεκτρονικός ενισχυτής λυχνιών και οι μικροί ηλεκτρικοί κινητήρες, με τους οποίους πήρε πλέον το γραμμόφωνο και ο ήχος του σημαντικά ανώτερη ποιότητα.

Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας

Ήδη από το έτος 1844 είχε ηλεκτροφωτιστεί η Place de la Concorde στο Παρίσι με χρήση βολταϊκού τόξου, λύση που είχε σημαντικά τεχνικά προβλήματα. Στη δεκαετία του 1860 προσπάθησε ο Άγγλος τεχνικός Josef Swan να κατασκευάσει λάμπες με νήμα άνθρακα, αλλά η επιτυχία είχε μικτή διάρκεια, αφού μετά από μερικά λεπτά το νήμα καταστρεφόταν. Μετά από ένα διάλειμμα 18 ετών, άρχισε ο ίδιος το 1878 πάλι δοκιμές, αξιοποιώντας όμως την αντλία υψηλού κενού που είχε εντωμεταξύ εφευρεθεί. Πράγματι, η διάρκεια ζωής της λυχνίας με κενό αέρα είχε πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι είχε προηγουμένως. Το 1879 παρουσίασε ο Swan την εφεύρεσή του στη δημοσιότητα, αλλά διαπίστωσε ότι είχε αργήσει λίγο

Μερικούς μήνες πριν είχε υποβάλει ο Thomas Edison στην Αμερική αίτηση ευρεσιτεχνίας για μια όμοια λάμπα κενού. Ο Edison ισχυριζόταν ότι είχε ήδη κάνει επίδειξη της λυχνίας του, αλλά κανείς δεν είδε κάποιο δείγμα της εφεύρεσής του. Μάλλον επρόκειτο για πετυχημένη παραπλάνηση της κοινής γνώμης! Η διαφορά του Edison από τους άλλους εφευρέτες ήταν ότι, ενώ αυτοί πρώτα ερευνούσαν και υπολόγιζαν τις συσκευές τους, μέχρι να αποκτήσουν βεβαιότητα για τη λειτουργία τους, πριν βγουν στη δημοσιότητα, είχαν δηλαδή την επιστημονική νοοτροπία, ο Edison κατασκεύαζε εμπειρικά κάτι και, εφόσον αυτό λειτουργούσε στοιχειωδώς, αναζητούσε με την ησυχία του τη θεωρητική εξήγηση, αφού είχε υποβάλει τη σχετική αίτηση ευρεσιτεχνίας. Έτσι έφτασε στα περίπου 1.400 διπλώματα ευρεσιτεχνίας, πολλά από τα οποία δεν απέκτησαν ποτέ σημασία.



Την πρωτοχρονιά του 1879 παρουσίασε ο Edison μια συστοιχία από 50 λαμπτήρες, οι οποίες έπαιρναν ρεύμα από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Το 1882 άρχισε η βιομηχανική παραγωγή των λαμπτήρων στο ιδιόκτητο εργοστάσιο «Edison Lamp Company» στο New Jersey, το οποίο είχε συγκροτήσει ο Edison με ξένες χρηματοδοτήσεις. Εντωμεταξύ είχε αντικατασταθεί το νήμα άνθρακα από σκληρές ίνες ιαπωνέζικου μπαμπού. Στη Μεγ. Βρετανία άρχισε ο Swan την κατασκευή λαμπτήρων ήδη από το 1880, επιλέγοντας ως νήμα πυρακτώσεως επεξεργασμένες με άνθρακα ίνες βαμβακιού.

Το μικρόφωνο

Στις δεκαετίες του 1860 και '70 υπήρχε γενικότερη άμιλλα για την εφεύρεση μιας συσκευής, η οποία θα μετέτρεπε τις μεταβολές πίεσης των ηχητικών κυμάτων σε ταλαντώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος. Εξετάζονταν για το σκοπό αυτό όλες οι γνωστές αρχές της Φυσικής, ηλεκτρομαγνητικές, ηλεκτροστατικές, αγωγιμότητας κτλ. Μέχρι σήμερα δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ποιος από τους David Hughes, Thomas Edison, Thomson, Philipp Reis κ.ά. είναι τελικά ο εφευρέτης του μικροφώνου. Ο Hughes (Χιους, 1831-1901) παρουσίασε στη Royal Society ένα δείγμα του μικροφώνου του τον Μάιο 1878. Πρόκειται για το μικρόφωνο άνθρακα, στο οποίο μεταβαλλόταν η αγωγιμότητα του άνθρακα ανάλογα με τα ηχητικά κύματα κι έτσι δημιουργείτο μεταβαλλόμενο ρεύμα σε ένα κλειστό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος.

Το μικρόφωνο αυτό είχε μικρή ευαισθησία στις ακουστικές συχνότητες και ουσιαστικά επέτρεπε μόνο τη μετάδοση φωνής, δηλαδή περίπου στο φάσμα 300Hz-3kHz. Ένα ακατανόητο φαινόμενο, να κολλάνε οι κόκκοι άνθρακα μεταξύ τους, μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας του μικροφώνου και να μη μεταβάλλεται πια η αγωγιμότητα, δεν κατέστη δυνατόν να εξηγηθεί από τον εφευρέτη. Ο Σουηδός Erocsson τροποποίησε γι' αυτό το λόγο το έτος 1888 το μικρόφωνο του Hughes, υποδιαιρώντας τη μάζα των κόκκων άνθρακα σε 6 διαχωρισμένες κάμαρες. Το ανεξήγητο φαινόμενο κολλήματος των κόκκων μειώθηκε, αλλά δεν εκμηδενίστηκε βέβαια, πάντως το μικρόφωνο λειτουργούσε, μαζί με κάποιες άλλες βελτιώσεις. Τέτοια μικρόφωνα άνθρακα υπάρχουν ακόμα σε παλιές αναλογικές τηλεφωνικές συσκευές.

Εκτός από το μικρόφωνο άνθρακα καθιερώθηκε στην Αμερική και το ηλεκτρομαγνητικό μικρόφωνο που είχε κατασκευαστεί από τον Bell το έτος 1877.

Το φαινόμενο Hall

Η ανακάλυψη αυτού του φαινομένου έγινε από τον Edwin Hall (Χωλ, 1855–1938) στο Πανεπιστήμιο της Βαλτιμόρης κατά την εξέταση πλακιδίων, στα οποία διήρχετο ρεύμα κάθετα σε μαγνητικό πεδίο. Στην τρίτη διάσταση μετρήθηκε από τον Hall μία διαφορά δυναμικού, η οποία ήταν ανάλογη της εντάσεως του διερχόμενου ρεύματος και της επαγωγής τους μαγνητικού πεδίου. Θεωρητική εξήγηση του φαινομένου είχε δώσει ήδη ο Hendrik Lorentz (Λόρεντς, 1853–1928), πριν ακόμα διατυπωθεί η ηλεκτρονική θεωρία του ατόμου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τάση Hall είναι πολύ μικρή και τότε δεν υπήρχε ο ενισχυτής για να αξιοποιήσει τεχνικά αυτό το φαινόμενο. Παρ' ότι λοιπόν δεν υπήρχε ακόμα κάποια εφαρμογή γι' αυτό το φαινόμενο, οι δύο ερευνητές, Λόρεντς και Χωλ πήραν το έτος 1902 το βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Ιδέες για τηλεόραση

Το έτος 1883 ο Γερμανός φοιτητής Paul Nipkow (Νίπκο, 1860–1940), προβληματιζόταν πώς θα μπορούσε να μεταδώσει ηλεκτρικά μία εικόνα. Για το σκοπό αυτό αξιοποίησε ένα φωτοστοιχείο, για το οποίο ήταν γνωστό ότι μετατρέπει ακτινοβολία διαφορετικής εντάσεως σε μεταβαλλόμενη τάση. Η σκέψη να υποδιαιρέσει την επιφάνεια της εικόνας σε πολλές μικρές περιοχές και από κάθε μία να «καταγράψει» την ένταση ακτινοβολίας, όπως κάνει σήμερα στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ο αισθητήρας (CCD), ήταν απορριπτέα, γιατί δεν υπήρχε τότε η δυνατότητα ενσωματώσεως τόσο μεγάλου αριθμού φωτοστοιχείων σε μικρό χώρο (ολοκλήρωση). Για να καταγράψει τα διαφορετικά σημεία μιας εικόνας με ένα μόνο φωτοστοιχείο, κατασκεύασε ο Νίπκο ένα δίσκο με οπές σε σπειροειδή διάταξη. Αυτή η διαδικασία ονομάστηκε ανάλυση εικόνας. Ένας ίδιος δίσκος περιστρεφόταν σε σύγχρονο ρυθμό στην πλευρά του δέκτη, με τον οποίο γινόταν η σύνθεση εικόνας. Συνολικά γινόταν λοιπόν η μεταφορά μιας εικόνας, σημείο προς σημείο με την παρεμβολή μηχανικών εξαρτημάτων. Ο Νίπκο ονόμασε τη συσκευή του ηλεκτρικό τηλεσκόπιο και έλαβε γι' αυτή βεβαίωση ευρεσιτεχνίας το έτος 1885. Η κατασκευή των πρώτων ενισχυτών, με τους οποίους θα ήταν δυνατή η ενίσχυση των ασθενών σημάτων της φωτοδίοδου, πραγματοποιήθηκε όμως αρκετά χρόνια αργότερα κι έτσι η μηχανική τηλεόραση έμεινε αναξιόποιτη.

2.3 Η θεμελίωση της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας - ο Maxwell

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Το 1872, οκτώ χρόνια μετά την πρώτη δημοσίευση της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας, κυκλοφόρησε το βιβλίο που έκανε τον Μάξουελ διάσημο σε όλο τον κόσμο, «A Treatise on Electricity and Magnetism» και γι' αυτό ο σπουδαίος αυτός επιστήμονας θεωρείται ο χρονικά *τρίτος κορυφαίος* και αξιολογικά ο σημαντικότερος ερευνητής του Ηλεκτρομαγνητισμού.

Ο Maxwell κωδικοποίησε με το έργο του στον Ηλεκτρομαγνητισμό τις γνώσεις που ίσχυαν μέχρι την εποχή του σε εννέα (9) πειράματα και δύο (2) παραδοχές, τα πορίσματα των οποίων, εφόσον συνεκτιμηθούν και συνδυαστούν σωστά, οδηγούν στις εξισώσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας. Τα πειράματα αυτά έχουν, με σημερινή ορολογία και μαθηματικούς συμβολισμούς διανυσματικού και ολοκληρωτικού λογισμού και με λογική, όχι ιστορική σειρά, ως εξής:

Πείραμα I: Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Coulomb για την εξάσκηση δυνάμεων μεταξύ σημειακών φορτίων.

$$F_{\eta\lambda} = k_e \frac{Q_1 Q_2}{\ell^2}$$

Πείραμα II: Πειραματική επιβεβαίωση ότι το ηλεκτροστατικό πεδίο είναι συντηρητικό και αστρόβιλο.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$\oint_{(C)} \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = Q \oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$$

Πείραμα III: Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Gauss για το ΗΣΠ με μεμονωμένο φορτίο.

$$\oint_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$$

Πείραμα IV: Γενίκευση του προηγούμενου, όπου το πείραμα πραγματοποιείται με τυχαία κατανομή φορτίων.

$$\oint_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_{(V)} \rho dV$$

Πείραμα V: Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Ohm ($I=GU$) με πεδιακά μεγέθη.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατοπίσεως*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματικοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}$$

Πείραμα VI: Πείραμα του Ampere για τη μέτρηση της δύναμης που εξασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό εντός μαγνητικού πεδίου.

$$\vec{F}_{\text{μαγ}} = I \cdot \vec{\ell} \times \vec{B}$$

Πείραμα VII: Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

$$\oint_{(C)} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{\partial}{\partial t} \oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Πείραμα VIII: Πειραματική επιβεβαίωση του νόμου του Gauss για το μαγνητικό πεδίο.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$\oint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Πείραμα IX: Πειραματική απόδειξη του νόμου του διαρρέυματος του Ampere.

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \oint_{(S)} \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

Αυτά τα εννέα πειράματα, μαζί με κάποιες προεκτάσεις που έχουν σημασία για τις τεχνικές εφαρμογές, συμπληρώθηκαν από δύο παραδοχές, με τις οποίες γενικεύονται οι δύο νόμοι του Gauss για οποιοδήποτε σημείο του χώρου και αφορούν την *ύπαρξη* ηλεκτρικών και τη *μη ύπαρξη* μαγνητικών φορτίων:

Παραδοχή I: Η απόκλιση του δυναμικού ηλεκτρικού πεδίου είναι *πάντα* ανάλογη προς την πυκνότητα του φορτίου.

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

Παραδοχή II: Η απόκλιση του δυναμικού μαγνητικού πεδίου είναι *πάντα* μηδενική.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

Στηριζόμενος στα προαναφερόμενα εννέα πειράματα και τις δύο παραδοχές, διατύπωσε ο Maxwell μία συνεκτική και ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, προσθέτοντας στο νόμο του Ampere τον όρο για τις επιπτώσεις από τη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου:

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \oint_{(S)} \vec{J} \cdot d\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \oint_{(S)} \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Αυτή η γενικευμένη εξίσωση Ampere ή πρώτη εξίσωση Maxwell δηλώνει ότι η ροή ρεύματος και/ή η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί γύρω της μία δεξιόστροφη κυκλοφορία, ενώ η εξίσωση ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής Faraday ή δεύτερη εξίσωση Maxwell δηλώνει ότι η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου δημιουργεί γύρω της μία αριστερόστροφη κυκλοφορία ηλεκτρικού πεδίου.

Σημειώνουμε εδώ ότι οι ονομασίες *πρώτη* και *δεύτερη* εξίσωση Μάξουελ δίνονται στη βιβλιογραφία μερικές φορές αντίστροφα. Η συμμετρία που εκφράζουν αυτές οι σχέσεις

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

φαίνονται στις εξισώσεις Μάξουελ καλύτερα, αν γραφτούν με το σύγχρονο διανυσματικό συμβολισμό:

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι εκείνη την εποχή δεν είχαν ακόμα αναπτυχθεί οι μαθηματικοί συμβολισμοί (διανυσματική ανάλυση κτλ.), γι' αυτό οι εξισώσεις Μάξουελ δεν είχαν την απλή μορφή (ολοκληρωτική και διανυσματική) που γνωρίζουμε σήμερα. Οι φυσικοί νόμοι δίνονταν με τις συνιστώσες των διανυσμάτων, πράγμα που μόνο εξειδικευμένοι και έμπειροι μαθηματικοί ήταν σε θέση να διαβάσουν και να κατανοήσουν.

Στην Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία περιλαμβάνονται ακόμα δύο εξισώσεις, η *εξίσωση συνέχειας* ή *αρχή διατηρήσεως του φορτίου* και η ενοποιημένη *ηλεκτρομαγνητική δύναμη Lorentz* που απαρτίζεται από το άθροισμα των επιμέρους δυνάμεων στο ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Η πρώτη από αυτές τις εξισώσεις είναι συνέπεια των

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

εξισώσεων Μάξουελ και η δεύτερη συσχετίζει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με τα μηχανικά φαινόμενα.

$$\oint_{(S)} \vec{J} \cdot d\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \oint_{(V)} \rho dV$$

$$\vec{F} = \int_{(V)} \rho (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \cdot dV$$

Εξίσωση συνέχειας και εξίσωση δυνάμεων.

Στην πραγματικότητα η αμοιβαία δημιουργία πεδίων πραγματοποιείται προς όλες τις κατευθύνσεις κι έτσι καλύπτεται (θεωρητικά) όλος ο χώρος. Η πειραματική επαλήθευση αυτών των υποθέσεων έγινε από τον Hertz. Με την πρώτη δημοσίευση της *Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας*, το έτος 1864, έκλεισε ένας κύκλος επιστημονικών εξελίξεων και άνοιξε ένας νέος, ευρύτερος και πολύ αποδοτικότερος από ό,τι γνώριζαν οι επιστήμονες μέχρι εκείνη την εποχή. Ο Μάξουελ διατύπωσε μια συνεκτική ολοκληρωμένη επιστημονική θεωρία μέσα σε 4 απλές μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες, μαζί με ορισμένες συμπληρωματικές, περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξγουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατοπίσεως*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξγουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξγουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξγουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Έκτοτε μαθηματοποιήθηκε η επιστήμη και για όλες τις γνωστές επιστημονικές θεωρίες διατυπώθηκαν μαθηματικές σχέσεις, οι οποίες περιγράφουν ποσοτικά την εξέλιξη των φυσικών φαινομένων.

Οι εξισώσεις του Μάξγουελ αποτέλεσαν έναν από τους βασικούς σταθμούς στην εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική. Ο λόγος ήταν πως συνέδεσαν μαζί τρεις από τις τέσσερις συνολικά μορφές ενέργειας εκείνη την εποχή, δηλαδή τον ηλεκτρισμό το μαγνητισμό και το φως. Αξίζει να επισημάνουμε ότι από την εποχή του Μάξγουελ δεν υπήρξε περαιτέρω εξέλιξη των ιδεών στον Ηλεκτρομαγνητισμό, πέρα από τη θεωρητική συνένωσή του με τις ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις. Η θεωρία αυτή όμως βρίσκει εφαρμογή μόνο σε εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Έτσι ο (κλασικός) Ηλεκτρομαγνητισμός εξακολουθεί να διδάσκεται και σήμερα στα πανεπιστήμια όπως ακριβώς τον είχε διατυπώσει ο Μάξγουελ.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατοπίσεως*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματικοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατοπίσεως*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Ενότητα 3

3.1 Εισαγωγή

Η καθημερινή εμπειρία, είναι αρκετή για να καταδείξει με τον πλέον εναργή τρόπο, τη σημασία του ηλεκτρισμού, στην εποχή μας, καθώς και την ολοένα αυξανόμενη σπουδαιότητά του. Τη σπουδαιότητα αυτή, τόσο παγκοσμίως, όσο και στη χώρα μας, θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε στην ενότητα αυτή.

3.2 Η σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας στη σύγχρονη εποχή

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, όπως λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να αναπτύσσουν «τεχνολογία» που τους επέτρεπε να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας.

Σήμερα γνωρίζουμε τη μεγάλη σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας για την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας σε όλες τις χώρες του κόσμου. Η ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται από οικονομικότητα, μεγάλη ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και ήπια συμπεριφορά στο περιβάλλον κατά την κατανάλωσή της. Αυτές οι αντιλήψεις άρχισαν να διαμορφώνονται στα τέλη του 19ου αιώνα, όταν η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατόπισης*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

άρχισε να ξεπερνάει την ευρύτερη γειτονιά του εργοστασίου παραγωγής και να επεκτείνεται σε αστικά διαμερίσματα και ολόκληρες πόλεις, κάποια στιγμή δε και υπεραστικά.

Το 1881 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Godalming της Αγγλίας, μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ, με ισχύ 746 kW. Η πόλη αυτή απέκτησε και τον πρώτο δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, αρχικά με 3 λάμπες βολταϊκού τόξου και 7 λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με 4 και 27 λάμπες αντίστοιχα. Η γεννήτρια ήταν μονοφασική της εταιρίας Siemens που παρείχε 250V/12A με 1.200 στροφές ανά λεπτό. Η κίνηση της γεννήτριας προερχόταν από δύο υδρόμυλους και λειτουργούσε μόνο σε εποχή κανονικών βροχοπτώσεων, γιατί δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί επαρκώς η ροή νερού στο ποτάμι που διέτρεχε την πόλη.

Στη Γερμανία εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουγκάρδη το έτος 1882 και ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως, μπορούμε να εκτιμήσουμε συνολικά περί το 1,5 kW. Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζουν δρόμους του Βερολίνου ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε από την πόλη την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα. Σ' αυτή την περιοχή είχε η εταιρία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας το δικαίωμα να τοποθετεί αγωγούς για την παροχή ρεύματος.

Το έτος 1885 με την κατασκευή του μετασχηματιστή ισχύος από τον William Stanley (Στάνλυ, 1858-1916) υπάλληλο της εταιρίας Westinghouse, με τον οποίο μετέβαλε κατ' επιθυμία την εναλλασσόμενη τάση, κατέστη προφανές ότι το εναλλασσόμενο ρεύμα θα επικρατούσε οριστικά έναντι του συνεχούς.

Το 1864 δημοσιεύτηκε σε επιστημονικό περιοδικό μία εργασία, η οποία εντυπωσίασε την επιστημονική κοινότητα. Ο James Clerk-Maxwell (Μάξουελ, 1831-1879) παρουσίασε μία ολοκληρωμένη θεωρία του Ηλεκτρομαγνητισμού, στηριζόμενος σε συνολικά τέσσερις εξισώσεις. Πρόκειται για την εξίσωση διαρρέυματος του Ampere, συμπληρωμένη με το *ρεύμα μετατοπίσεως*, την εξίσωση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday και τις δύο εξισώσεις του Gauss, για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο. Οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*, συμπληρωμένες με την *εξίσωση συνέχειας* του ηλεκτρικού ρεύματος, αποτελούν πέντε θεμελιώδεις εξισώσεις της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, οι οποίες περιγράφουν όλα τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα της φύσης και της τεχνικής.

Το πατρώνυμο αυτού του μεγάλου ερευνητή ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Μάξουελ της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής άνεσης της οικογένειάς του, ο Μάξουελ είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε μία εργασία του «On Faraday's Lines of Force», με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, ενεθάρρυνε τον Μάξουελ σ' αυτές τις εργασίες του. Κάποια στιγμή εξαφανίστηκε ο νέος ακόμα ερευνητής από τους επιστημονικούς κύκλους για περίπου πέντε χρόνια και μετά από αυτή την οικειοθελή απομόνωση, παρουσίασε το 1864 την εργασία που εντυπωσίασε το επιστημονικό κοινό. Με αυτή την εργασία, μεταξύ άλλων συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού (δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης άνω των 160 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων, θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του φωτός και εξηγείται η διάδοσή του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Λίγα χρόνια μετά, ο Edison συνέδεσε στον περιστρεφόμενο άξονα μιας ατμομηχανής ένα «δυναμό» και είχε έτοιμη την πρώτη στον κόσμο μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με συνεχές ρεύμα. Η «Edison Electric Light Company», όπως ονομαζόταν η εταιρία του Edison πριν μετονομαστεί σε «General Electric», άρχισε να συνδέει στη γεννήτριά του όλο και περισσότερους καταναλωτές, βιοτεχνίες και νοικοκυριά. Ο Δήμος της Νέας Υόρκης αντικατέστησε τους φανοστάτες αερίου με ηλεκτρικούς λαμπτήρες.

Με το ΣΡ του Edison δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, γιατί η τάση δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί με απλά μέσα (τότε ήταν αδύνατον), οπότε με την απόσταση μεγάλωνε δυσανάλογα η διατομή και κατά συνέπεια το κόστος των αγωγών. Γι' αυτό έπρεπε ο Edison να κατασκευάζει πολλές μικρές μονάδες σε κάθε συνοικία της πόλης, ώστε να διατηρούνται οι αποστάσεις από τους καταναλωτές σε λογικά επίπεδα. Για κάθε μεγαλύτερη εφαρμογή, ηλεκτροκίνητα μέσα συγκοινωνίας, βιομηχανικές μονάδες κ.ά., ήθελε ο Edison να κατασκευάζει επί τούτου μια μονάδα παραγωγής ηλ. ενέργειας. Και προς έκπληξή του έβλεπε ότι ο αντίπαλος προωθούσε χωρίς πολλά έξοδα και φασαρίες τη δική του μορφή ηλ. ενέργειας, πείθοντας τους ενδιαφερόμενους ότι θα τους φέρει το ρεύμα από ένα μακρινό σημείο, έξω από την πόλη.

Η συνάντηση, όμως, του Westinghouse με τον Nicola Tesla (Τέσλα, 1856-1943), έναν ιδιοφυή μετανάστη από τη Σερβία, παλιό συνεργάτη του Edison, άνοιξε το δρόμο για νέες κατακτήσεις στον τομέα των ηλεκτροτεχνικών εφαρμογών. Ο Tesla είχε κατασκευάσει μία «μηχανή επαγωγής», μια επαναστατική επιινόηση, η οποία έπαιξε αποφασιστικό ρόλο σε όλες τις μετέπειτα εφαρμογές. Αυτή η μηχανή, γεννήτρια ή κινητήρας, στηρίζεται στο νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, άρα λειτουργεί με ΕΡ, είναι σχετικά απλής κατασκευής και δεν χρειάζεται συχνή συντήρηση. Ο Westinghouse εξαγόρασε αυτή την εφεύρεση του Τέσλα και στήριξε επάνω της τη διάδοσή του «δικού του» ΕΡ. Το ρεύμα της εταιρίας «Westinghouse Electric and Manufacturing Company» μεταφερόταν με μικρές απώλειες σε

αποστάσεις δεκάδων και εκατοντάδων χιλιομέτρων, άρα αρκούσε μια μεγάλη μονάδα παραγωγής.

Έτσι, παρά το σφοδρό ανταγωνισμό και την αντιδικία στην οποία είχαν επιδοθεί οι δύο πρωτοπόροι του ηλεκτρισμού, και κατά την οποία ο Edison επιδίκετο σε συστηματική δυσφήμιση του εναλλασσόμενου ρεύματος, η τεχνολογική και οικονομική πραγματικότητα υπερνικά: μέσα σε δύο χρόνια ολοκληρώνει ο Westinghouse περισσότερα από 30 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτεί το έτος 1890 ήδη 130 αμερικάνικες πόλεις, με ΕΡ. Το έτος 1893 υποβάλλει ο Westinghouse μια προσφορά για την ηλεκτροδότηση της παγκόσμιας έκθεσης στο Σικάγο κατά περίπου 1 εκατομμύριο δολάρια χαμηλότερη από εκείνη του Edison. Στην έκθεση προμήθευσε η εταιρία «Westinghouse» ηλεκτρική ενέργεια από δικές της μονάδες για 180.000 λαμπτήρες. Η επόμενη μεγάλη σύγκρουση μεταξύ των δύο πρωτοπόρων βιομηχάνων του ηλεκτρισμού σχετίζεται με ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί την υδατόπτωση των καταρρακτών του Νιαγάρα. Και σ' αυτή την περίπτωση κέρδισε το έργο η πλευρά του Westinghouse και από το έτος 1896 παρήγαγαν οι γεννήτριές του ηλεκτρική ενέργεια για την πόλη Buffalo σε απόσταση 40 km. Από τότε όλες σχεδόν οι πόλεις στις ανεπτυγμένες χώρες εγκαθιστούν δίκτυο ΕΡ.

Την ίδια εποχή που εξελισσόταν στις ΗΠΑ η σύγκρουση Westinghouse-Edison, στην Ευρώπη, ο Ιταλός Galileo Ferraris (Φεράρις, 1847-1897) πραγματοποιούσε πειράματα με ανεξάρτητα ΕΡ. Στην πορεία αυτών των πειραμάτων ανακάλυψε ότι δύο εναλλασσόμενα ρεύματα ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής αρχικής φάσης δημιουργούσαν στο χώρο ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Παράλληλα με τον Ferraris πραγματοποιούσε όμοια πειράματα, αλλά με 3 ΕΡ και ο τότε βοηθός του Edison, Nicola Tesla.

Το έτος 1886 κατασκευάστηκε στη Γερμανία μια τριφασική γραμμή που τροφοδοτείτο από 3 μονοφασικούς κινητήρες και ένα χρόνο μετά κατασκεύασε ο Friedrich August Haselwander (Χάζελβάντερ, 1851-1929) την πρώτη τριφασική γεννήτρια (σύγχρονη μηχανή). Αξιοποιώντας τα πειράματα διαφόρων ερευνητών, κατασκεύασε ο Ρωσο-Γερμανός Michael Dolivo-Dobrowolsky (Ντομπροβόλσκυ, 1862-1919) το έτος 1889 τον πρώτο επαγωγικό τριφασικό κινητήρα με ικανοποιητική συμπεριφορά. Ο κινητήρας αυτός λειτουργούσε με βραχυκυκλωμένο κλωβό του δρομέα και κατασκευάστηκε στα εργαστήρια της εταιρίας AEG στο Βερολίνο. Μέχρι σήμερα δεν άλλαξε ουσιαστικά η βασική κατασκευαστική αρχή αυτών των κινητήρων, οι οποίοι είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι σε όλες τις εφαρμογές.

Στα επόμενα χρόνια εξελίχθηκε το γερμανικό τριφασικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε το έτος 1891 τροφοδοτήθηκε η Φραγκφούρτη, σε απόσταση 175 km από το εργοστάσιο παραγωγής, με βαθμός αποδόσεως 70%. Το έτος 1893 τροφοδοτούσε η εταιρία Westinghouse περί τις 250.000 λαμπτήρες στην παγκόσμια έκθεση εμπορίου του Σικάγου. Ο Χάζελβάντερ που προαναφέρθηκε είχε δηλώσει την κατασκευή του για απονομή διπλώματος ευρεσιτεχνίας, αλλά κάποιες διαπλοκές των αρμόδιων υπαλλήλων με εταιρίες οδήγησαν στην εξαπάτησή του. Το έτος 1932, μετά το θάνατο του εφευρέτη, αναγνώρισαν οι εταιρίες Siemens και AEG ότι η ευρεσιτεχνία των μηχανών που κατασκεύαζαν προερχόταν από την αίτηση και τα τεχνικά σχέδια του Χάζελβάντερ.

Είναι προφανές ότι τις δεκαετίες 1880 και 1890 υπήρχε στον ηλεκτρολογικό τομέα τέτοια ραγδαία εξέλιξη, ώστε πολλές εφευρέσεις και κατασκευές γίνονταν όμοιες ή ίδιες από διαφόρους κατασκευαστές, άγνωστους και άσχετους μεταξύ τους, αλλά γνωρίζοντας όλοι τα τεχνικά προβλήματα που προέκυπταν κατά τη βελτίωση των διαδικασιών της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που ήταν ουσιαστικά παντού ίδια.

Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε την παραγωγή σε αδιέξοδο, γιατί η μοναδική κινητήρια μηχανή, η ατμομηχανή, δεν ήταν σε θέση να καλύψει τις τεχνικές απαιτήσεις. Η αναζήτηση για μια νέα κινητήρια μηχανή οδήγησε αρχικά τον Εγγλέζο C.A.

Parsons (1854–1931) και αργότερα τον Σουηδό C.G.P. Laval (1845–1915) στην κατασκευή ατμοστροβίλων. Η αρχή λειτουργίας του ατμοστρόβιλου ήταν βέβαια γνωστή ήδη από την εποχή του Ήρωνα και αργότερα από τον 17ο αιώνα. Οι πρώτες μονάδες σταθερής απόδοσης κατασκευάστηκαν όμως το 1884 από τον Parsons και το 1899 από τον Laval, του οποίου ο ατμοστρόβιλος ήταν μια παραλλαγή εκείνου του Parsons.

Το έτος 1893 εισήγαγε ο Γερμανο-Αμερικάνος μηχανικός Charles Steinmetz (Στάινμετς, 1865–1923) τη μαθηματική περιγραφή των εναλλασσόμενων μεγεθών του ηλεκτρικού κυκλώματος, χρησιμοποιώντας το μιγαδικό συμβολισμό (*παραστατικοί μιγαδικοί αριθμοί*) για να απλοποιήσει τις πολύπλοκες τριγωνομετρικές εξισώσεις. Η μελέτη ηλεκτρικών δικτυωμάτων και συστημάτων έγινε πλέον αντικείμενο των ηλεκτρολόγων μηχανικών της εποχής και αυτό έδωσε νέα ώθηση, τόσο στην εκπαίδευση, όσο και στην έρευνα από πανεπιστήμια και εταιρίες.

Το έτος 1903 κατασκευάστηκε ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός στην πόλη Nexaca του Μεξικού, με ισχύ 6,25 MVA, ο οποίος λειτουργεί ακόμα 100 χρόνια μετά. Το 1905 άρχισε η λειτουργία της γραμμής υψηλής τάσης 50kV στην περιοχή του Μονάχου και το 1909 της γραμμής 100kV με μήκος 290 km στο Sohshona–Boulder των ΗΠΑ.

Με την εξάπλωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επήλθε η δεύτερη μεγάλη αλλαγή, μετά το σιδηρόδρομο, στο τοπίο των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών, τόσο λόγω των εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και λόγω των υπαίθριων μετασχηματιστών και κέντρων μετασχηματισμού της υψηλής τάσης.

3.3 Οι μεγάλες εταιρίες

Έχει γίνει ήδη αναφορά στην ίδρυση εταιριών για την κατασκευή συσκευών και μηχανών, οι οποίες αναπτύχθηκαν σταδιακά και τον 21ο αιώνα αποτελούν πλέον πολυεθνικά συγκροτήματα, στα οποία μελετώνται και κατασκευάζονται κάθε είδους τεχνικά συστήματα. Τέτοιες εταιρίες ήταν η Bell και η Edison στην Αμερική και η Siemens στην Ευρώπη που ιδρύθηκαν από τους ομώνυμους εφευρέτες. Το έτος 1883 επισκέφτηκε ο Γερμανός μηχανικός Emil Rathenau (Ράτενάου, 1838–1915) μία ηλεκτροτεχνική έκθεση και εντυπωσιάστηκε από τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες. Ήταν βέβαιος ότι ο ηλεκτροφωτισμός θα έπαιρνε στα επόμενα χρόνια μεγάλη διάδοση και αποφάσισε να ασχοληθεί με την κατασκευή ηλεκτρικών λαμπτήρων και των συναφών υλικών για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Μετά από συνεννόηση με την εταιρία Siemens αγόρασε ο Rathenau δικαιώματα ευρεσιτεχνίας από τον Edison και ίδρυσε τη «Γερμανική Εταιρία Edison». Ύστερα από διαφωνίες αποχώρησε όμως ο Rathenau και ίδρυσε το 1887 με διάφορους χρηματοδότες την εταιρία AEG (Γενική Ηλεκτροτεχνική Εταιρία), η οποία εξελίχθηκε σε ανταγωνιστή της Siemens και της Edison. Το έτος 1886 είχε ιδρύσει ο Westinghouse τη γνωστή μέχρι των ημερών μας ομώνυμη ηλεκτρική εταιρία, Westinghouse Electric Company.

Οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες ήταν αφορμή για την ίδρυση άλλης μιας μεγάλης εταιρίας με παγκόσμια φήμη. Ο Ολλανδός Gerard Philips (Φίλιπς, 1858–1942) αποφάσισε, μετά από επισκέψεις στην Αγγλία, να κατασκευάσει ο ίδιος λαμπτήρες. Το έτος 1891 ξεκίνησε η παραγωγή στην πόλη Eindhoven και σταδιακά η εταιρία αυτή επεκτάθηκε σε πάμπολλους

τεχνολογικούς κλάδους.

Το έτος 1892 έγινε στην Αμερική η συνένωση δύο ήδη τότε μεγάλων εταιριών, της εταιρίας Edison και της Thomson-Houston. Η νέα εταιρία ονομάστηκε General Electric, η οποία εξελίχθηκε μέχρι σήμερα σε ένα πολυεθνικό κολοσσό. Τέλος, το έτος 1903 ίδρυσαν οι εταιρίες AEG και Siemens την εταιρία τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών Telefunken («τηλεσπινθήρες»), η οποία λειτούργησε επί σχεδόν 30 χρόνια, μέχρι το έτος 1932, με την ίδια διοίκηση.

3.4 Ο ηλεκτρισμός, φτάνει στην Ελλάδα

Το έτος 1889 έφτασε ο «ηλεκτρισμός» στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ, η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης η Θεσσαλονίκη, η οποία ανήκει ακόμα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η «Βελγική Εταιρία» αναλαμβάνει απ' τις τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία» που αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναλαμβάνουν την ηλεκτροδότηση ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα περίπου 400 εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή ενέργεια χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα, αμφότερα φυσικά εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής σε πολλές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν σε ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια ήταν λοιπόν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο. Μετά το έτος 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε ένα δημόσιο φορέα, με όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει μια τέτοια επιλογή.

3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις

Οι αλληπάλληλες εφευρέσεις στον ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό τομέα, μαζί με αυτές που προέκυψαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, προκάλεσαν συνεχείς ανατροπές σε πολλούς τομείς του βιομηχανικού και του οικονομικού τομέα, αλλά και στις κοινωνικές

3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις

συνήθειες και προοπτικές. Με την καθιέρωση ισχυρών ηλεκτρικών κινητήρων έγινε δυνατή και η κατασκευή υψηλών κτηρίων, των ουρανοξυστών, γιατί διαφορετικά δεν ήταν δυνατόν να ανεβοκατεβαίνουν οι άνθρωποι τις σκάλες σε κτήρια μεγαλύτερα των 4-5 ορόφων. Οι τιμές των οικοπέδων στο κέντρο των μεγάλων πόλεων της Αμερικής και της Ευρώπης ήταν ιδιαίτερα υψηλές, οπότε συνέφερε η προέκταση των κτηρίων σε ύψος. Με αυτή την επιλογή προκύπτει ένα πλήθος αλλαγών τόσο στην απασχόληση εργατικού δυναμικού, όσο και στην παραγωγή οικοδομικών υλικών κ.ά., η οποία παραγωγή δημιουργεί κι άλλες θέσεις εργασίας κ.ο.κ.

Η χρήση του ηλεκτρισμού σε όλο και περισσότερες εργασίες και ανάγκες της καθημερινής ζωής, ακόμα και μέσα στο σπίτι, έδινε τη δυνατότητα αποδέσμευσης από τις βαριές εργασίες, δημιουργούσε ελεύθερο χρόνο και ευκαιρίες για συναναστροφές με καλό φωτισμό και γρήγορη μεταφορά στην πόλη. Κατά μήκος των γραμμών κίνησης του τραμ δημιουργήθηκαν νέα προάστια, αφού οι εργαζόμενοι δεν ήταν απαραίτητο να κατοικούν πλέον σε υποφερτή απόσταση από την περιοχή εργασίας τους. Επίσης, οι τιμές των οικοπέδων αυξήθηκαν, λόγω του διαθέσιμου μοντέρνου μεταφορικού μέσου και οι ιδιοκτήτες των εκτάσεων στα νέα προάστια, κυρίως αγρότες, απέκτησαν κεφάλαια από την πώληση των ακινήτων τους.

Ήδη στα τέλη του 19ου αιώνα άρχισε η εξειδίκευση στις ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές. Αρχικά διαμορφώθηκαν τρεις κλάδοι, οι οποίοι αναπτύχθηκαν μέχρι το τέλος του β' παγκόσμιου πολέμου:

Η *τεχνική ισχυρών ρευμάτων* που περιελάμβανε ηλεκτρικές μηχανές (κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές), μονωτικά υλικά κ.ά.

Η *τεχνική φωτισμού*, στην οποία απονέμονταν πολλά διπλώματα ευρεσιτεχνίας που κάλυπταν εσωτερικούς και εξωτερικούς φωτισμούς.

Η *τεχνική ασθενών ρευμάτων* που κάλυπτε την τηλεγραφία και την τηλεφωνία.

Η πρώτη από αυτές τις κατευθύνσεις ονομάζεται σήμερα Ενεργειακή Τεχνολογία και καλύπτει, πέρα από τις μηχανές, επίσης τα θέματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η Φωτοτεχνία που είναι η συνέχεια της δεύτερης κατεύθυνσης, έχει ενσωματωθεί στην Ενεργειακή Τεχνική. Η τρίτη κατεύθυνση ονομάζεται σήμερα Τηλεπικοινωνίες και καλύπτει, ως γνωστόν, ευρύτερα αντικείμενα από τον τηλεγράφο και το τηλέφωνο. Πέρα από αυτές έχει προκύψει και η Τεχνολογία των Υπολογιστών, με τις γνωστές διασταυρώσεις της με τις Τηλεπικοινωνίες κτλ.

3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις

Ενότητα 4

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή, θα διερευνήσουμε και θα περιγράψουμε τις κλασσικές αλλά και τις εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους Ενεργειακούς Πόρους, την Ενεργειακή Πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις συμβατικές που βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας (λιθάνθρακας και λιγνίτης), το φυσικό αέριο, στην πυρηνική ενέργεια και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν διαχρονικές πηγές (άνεμος, ήλιος, νερό κλπ) και δεν εξαντλούν τα περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα.

Σταθμοί παραγωγής που χρησιμοποιούν ως πρωτογενή ενέργεια την κίνηση νερών ή στροβίλους αέριου καυσίμου, είναι δυνατόν να διαθέσουν την ονομαστική ισχύ μέσα σε λίγα λεπτά από την εκκίνησή τους. Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρειάζονται όμως μέχρι να φτάσουν στην ονομαστική ισχύ τους αρκετές ώρες μέχρι μερικές ημέρες. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του βασικού ενεργειακού φορτίου, ενώ οι σταθμοί ταχείας εκκινήσεως αναλαμβάνουν να καλύψουν τις αιχμές ενεργειακής ζήτησης.

4.2 Κλασσικές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Σε ένα *υδρο-ηλεκτρικό* σταθμό μετατρέπεται η μηχανική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα, το νερό που διοχετεύεται σε καθοδικό αγωγό, αποκτάει κινητική ενέργεια και περιστρέφει ένα *υδρόμυλο* ή ένα *υδροστρόβιλο*. Σε άλλες περιπτώσεις αξιοποιείται η σταθερή ροή των υδάτων ενός ποταμού για να κινήσει αυτές τις μηχανές. Αυτή η περιστροφική κίνηση μεταφέρεται στον άξονα ηλεκτρικής γεννήτριας, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ο συνολικός βαθμός αποδόσεως ενός υδροηλεκτρικού σταθμού φτάνει μέχρι το 90%.

3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις

Με την πάροδο των δεκαετιών εξελίχθηκαν και τυποποιήθηκαν μορφές και μεγέθη υδροηλεκτρικών μονάδων, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του γεωγραφικού χώρου. Ένα κριτήριο κατηγοριοποίησης είναι το ύψος πτώσης των υδάτων:

Μονάδες με ύψος πτώσης νερού κάτω των 15 μέτρων και μεγάλη παροχή νερού, χρησιμοποιούνται για την κάλυψη βασικού φορτίου ισχύος.

Μονάδες με ύψος πτώσης νερού μεταξύ 15 και 50 μέτρων και μέση ως μεγάλη παροχή νερού, χρησιμοποιούνται για την κάλυψη βασικού και μεσαίου φορτίου ισχύος.

Μονάδες με ύψος πτώσης νερού από 50 μέτρα και πάνω και μικρή παροχή νερού χρησιμοποιούνται για την κάλυψη φορτίων αιχμής.

Ένα άλλο κριτήριο κατηγοριοποίησης είναι η διαθεσιμότητα μιας ηλεκτροπαραγωγού μονάδας. Αυτό σημαίνει ότι η μονάδα παράγει στην κανονική λειτουργία της ένα μικρότερο ποσοστό από την πραγματική δυναμικότητά της και σε ώρες μεγάλης ενεργειακής ζήτησης αυξάνεται βραχυπρόθεσμα η παραγόμενη ποσότητα ενέργειας.



3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις



Αριστερά: Ποτάμια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, *Μέση:* Ταμιευτήρας με φράγμα, *Δεξιά:* Αντλητική μονάδα

Ένα τρίτο κριτήριο για κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι το είδος κατασκευής της υδροηλεκτρικής μονάδας:

Μονάδες με ύδατα συνεχούς ροής: Συσσωρεύεται το νερό ενός ποταμού και ελέγχεται η απορρέουσα ποσότητα για την παραγωγή ενέργειας.

Μονάδες με ταμιευτήρα νερού: Αποθηκεύεται το νερό για κάποιο χρονικό διάστημα (ώρες, ημέρες, εβδομάδες) και, όταν παρουσιαστεί ζήτηση φορτίου, διατίθεται το νερό για την παραγωγή ενέργειας.

Αντλητική μονάδα: Με τυχόν περίσσειμα ηλεκτρικής ενέργειας αντλείται το νερό από χαμηλό ζημείο σε υψηλότερο και, όταν παρουσιαστεί ζήτηση φορτίου, διατίθεται το νερό για την παραγωγή ενέργειας.

Άλλοι τύποι υδροηλεκτρικών μονάδων κατασκευάζονται λιγότερο και μόνο σε γεωγραφικές περιοχές με ειδικές προδιαγραφές, όπως για την αξιοποίηση της θαλάσσιας παλίρροιας, των θαλάσσιων κυμάτων και ρευμάτων κ.ά.

Η σημασία των υδροηλεκτρικών μονάδων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τεράστια. Μερικές χώρες κάλυπταν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια στα τέλη του 20^{ου} αιώνα εξ ολοκλήρου (Νορβηγία) και άλλες κατά μεγάλο ποσοστό (Βραζιλία 80%) με υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Σε παγκόσμια κλίμακα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κατά περίπου 18% σε υδατοπτώσεις. Μειονεκτήματα αυτού του τρόπου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι το μεγάλο κόστος των εγκαταστάσεων, ο κίνδυνος για γεωλογικές επιπτώσεις (σεισμοί, κατολισθήσεις κ.ά.) λόγω του σημαντικού μηχανικού φορτίου στο υπέδαφος από το συσσωρευόμενο νερό και πιθανές πλημμύρες λόγω θραύσης φραγμάτων. Πλεονεκτήματα είναι η ανανεωσιμότητα, η απουσία εκπομπών στο περιβάλλον, η ρύθμιση της παροχής υδάτων στους ποταμούς κ.ά.

Οι πρώτοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί για μικρές ισχείς κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του 1870 στην Αγγλία και ένας στο Appleton, Wisconsin των ΗΠΑ το έτος 1882, ο οποίος τροφοδοτούσε την πόλη και το τοπικό εργοστάσιο παραγωγής χαρτιού με ηλεκτρική ενέργεια. Άλλα ανάλογα υδροηλεκτρικά έργα κατασκευάστηκαν στην Αυστραλία (Duck Reach, 1895) και στον Καναδά (St. Catharines, Ontario, 1898).

Το έτος 1932 εγκαινιάστηκε ένα από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα εκείνης της

3.5 Εξελίξεις και Εξειδικεύσεις

εποχής, το Dnjestroj στον ποταμό Δνήπερο της Ουκρανίας, με ισχύ 1500 MW. Το φράγμα είχε ύψος πάνω από 50 μέτρα και μήκος τόξου 762 μέτρα. Το 1941, κατά τη διάρκεια του β' παγκόσμιου πολέμου, προκάλεσαν σοβιετικοί στρατιώτες ρήγμα στο φράγμα, υποχωρώντας μπροστά στους προελαύνοντες Γερμανούς. Έτσι άδειασε ο ταμιευτήρας, αλλά οι δυνάμεις κατοχής επιδιόρθωσαν τη βλάβη και έθεσαν μετά από ένα χρόνο περίπου τον υδροηλεκτρικό σταθμό σε λειτουργία, μεχρι το έτος 1943, οπότε αποχώρησαν. Κατά την αποχώρησή τους βομβάρδισαν όμως το φράγμα, με αποτέλεσμα να χρειαστούν πάλι μερικά χρόνια για την επιδιόρθωσή του.

Το έτος 1936 εγκαινιάστηκε το υδροηλεκτρικό έργο Hoover στη Νεβάδα των ΗΠΑ με ισχύ 2.000 MW και ήταν μέχρι το έτος 1949 ο μεγαλύτερος σταθμός αυτού του είδους. Επεκτάσεις και βελτιώσεις του έργου γίνονταν μέχρι τη δεκαετία του 1960. Το μέχρι στιγμής μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό έργο στον κόσμο εγκαινιάστηκε το έτος 1983 στον ποταμό Παράνα μεταξύ Βραζιλίας και Παραγουάης, με ισχύ 14 GW. Μέχρι το 2010 θα λειτουργήσει το υδροηλεκτρικό έργο των «τριών φαργγιών» στον ποταμό Γιανγκ Τσε της Κίνας, με ισχύ 18,2 GW και αργότερα το έργο Turukhansk στη Ρωσία με προγραμματιζόμενη ισχύ 20 GW.

Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

Στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από διάφορες ορυκτές πρώτες ύλες (υγρές, στερεές, αέριες), με ενδιάμεση ενεργειακή μορφή τη θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας. Τα ορυκτά υλικά (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) έχουν εσώκλειστη ενέργεια σε χημική μορφή, η οποία απελευθερώνεται με την καύση για να παραχθεί θερμότητα.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των συναφών διαδικασιών παραγωγής ενέργειας είναι ότι οι ορυκτές ύλες δεν είναι ανανεώσιμες, σε αντίθεση με το νερό, τον αέρα και την ηλιακή ενέργεια ως πρωτογενή ενεργειακή μορφή που είναι ανανεώσιμα και, θεωρητικά, διαρκώς διαθέσιμα. Άλλη μια ιδιομορφία όλων των θερμικών διεργασιών είναι ότι, σύμφωνα με τον κύκλο του [Carnot](#), κατά την αλυσίδα μετατροπών από τη χημική στη θερμική, κι από εκεί στη μηχανική και ηλεκτρική ενέργεια προκύπτει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία καταρχήν θεωρείται ενεργειακή «απώλεια», αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί ως τηλεθέρμανση για οικισμούς ή για θέρμανση διαφόρων παραγωγικών διεργασιών στη βιομηχανία.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί απαιτούν επιπλέον των εγκαταστάσεων (ατμο-) στροβίλου και ηλεκτρικής γεννήτριας, επίσης ατμολέβητες, συμπυκνωτές, επεξεργασία αέριων ρύπων, ψυκτικούς πύργους, σωληνώσεις κ.ά., άρα πρόκειται για μονάδες υψηλού κόστους επενδύσεως και η οικονομική λειτουργία τους σχετίζεται με τη θερμογόνο αξία του διαθέσιμου ορυκτού καυσίμου.

Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί



Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί: Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Μεγαλόπολης

Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με αεριοστρόβιλους λειτουργούν με φυσικό αέριο, με την καύση του οποίου κινείται ο αεριοστρόβιλος που μεταδίδει με τη σειρά του την κίνηση στην ηλεκτρική γεννήτρια. Αυτές οι μονάδες, των οποίων η ισχύς κυμαίνεται από μερικές δεκάδες kW μέχρι 340 MW, έχουν μεν σχετικά μικρός κόστος εγκαταστάσεως, αλλά χαμηλό βαθμό αποδόσεως, άρα υψηλό κόστος λειτουργίας. Τα καυσάδια αυτών των μονάδων είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για την ενεργειακή τροφοδοσία ατμοσλεβήτων. Όπως προαναφέρθηκε, οι μονάδες με αεριοστρόβιλους παρέχουν ονομαστική ισχύ σε σύντομο χρονικό διάστημα, γι' αυτό αξιοποιούνται κυρίως για την κάλυψη αιχμών του ζητούμενου ενεργειακού φορτίου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα σημαντικού θερμοηλεκτρικού σταθμού ήταν η μονάδα *Lots Road Power Station* στο Λονδίνο, στο προάστιο ^{Chelsea} κοντά στον Τάμεση. Κατασκευάστηκε το έτος 1905 ως μονάδα καύσης κάρβουνου και λειτούργησε μέχρι το έτος 2002, τροφοδοτώντας το λοδρέζικο μετρό με ηλεκτρική ενέργεια, αντικαθιστώντας τα ατμοκίνητα τρένα που λειτουργούσαν μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 άρχισε να λειτουργεί η μονάδα αυτή με φυσικό αέριο.

Η μονάδα *Battersea Power Station* στο Λονδίνο λειτούργησε από το έτος 1933 μέχρι το

Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

1983 επίσης με κάρβουνο και είχε τη χαρακτηριστική ιδιομορφία ότι στεγαζόταν στο μεγαλύτερο κτήριο στην Ευρώπη κατασκευασμένο εξωτερικά από τούβλα· ο σκελετός οστού κτηρίου είναι βέβαια χαλύβδινος. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα δεν υπήρχε μια ενιαία μορφή ηλεκτρικής ενέργειας στο Λονδίνο. Πολλές μικρές μονάδες παρήγαγαν ηλεκτρισμό σχεδόν κάθε μία με διαφορετική τάση και συχνότητα. Γι' αυτό οι ηλεκτρικοί κινητήρες κατασκευάζονταν τότε ακόμα με ειδική παραγγελία, ώστε να προσαρμοστούν στα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής εταιρίας της περιοχής. Στη δεκαετία του 1920 αυτή η πολυπλοκότητα που ανέβαζε σημαντικά το κόστος προμήθειας μηχανών, οδήγησε στην απόφαση ενοποίησης και τυποποίησης των μονάδων παραγωγής. Ως φορέας που θα υλοποιούσε αυτή τη σημαντική απόφαση επελέγη η ιδιωτική εταιρία *London Power Company*. Έτσι, το έτος 1929 άρχισε η κατασκευή της μονάδας *Battersea Power Station*, η οποία ήταν η πρώτη που θα παρείχε ηλεκτρική ενέργεια με τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά, τα οποία ταυτιζόνταν με τα ευρωπαϊκά. Συνολικά η μονάδα αυτή παρείχε σε πρώτη φάση ισχύ 400 MW με τάση στα 11 kV.

Το έτος 1948 επεκτάθηκε η μονάδα και πήρε την τελική μορφή της με τα τέσσερα άσπρα φουγάρα, νεύος πάνω από 110 μέτρα. Στη δεκαετία του 1950 παρείχε αυτή η μονάδα συνολική ισχύ άνω των 600 MW. Η ετήσια κατανάλωση σε κάρβουνο ήταν της τάξης του ενός εκατομμυρίου τόνων. Το πρώτο τμήμα αυτού του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διέκοψε τη λειτουργία του το έτος 1975 και το υπόλοιπο το 1988.

Στην Ελλάδα άρχισε τη δεκαετία του 1950 η εξόρυξη λιγνίτη από τα κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους, ο οποίος αξιοποιήθηκε ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργήσε η νεοσυσταθείσα τότε ΔΕΗ. Οι κυριότερες μονάδες αυτού του είδους κατασκευάστηκαν στις λιγνιτοφόρες περιοχές της Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και της Μεγαλόπολης. Το έτος 2004 η παραγωγή λιγνίτη στη Μεγαλόπολη ανήλθε σε περίπου 14,5 εκ. τόνους και τροφοδοτήθηκαν, ο ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α με εγκατεστημένη ισχύ 550MW και ο ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β με ισχύ 300 MW.

Στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου. Επίσης στο Λιγνιτικό Κέντρο ανήκουν το Εργοστάσιο Λιγνιτοπλίνθων και ο ατμοηλεκτρικός σταθμός ΛΙΠΤΟΛ. Η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε το έτος 2004 σε περίπου 54,5 εκ. τόνους.

Σημαντικό θέμα κατά τη λειτουργία θερμοληκτρικών σταθμών που καίνε στερεά ορυκτά, είναι η σοβαρή επιβάρυνση του περιβάλλοντος που προκαλούν, τόσο με την τέφρα, όσο και με την υγρασία των ψυκτικών πύργων που αποβάλλουν. Η περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, αλλά κι αυτή της Μεγαλόπολης είναι από τις περισσότερο επιβαρυνμένες περιοχές της Ελλάδας, όσον αφορά την αέρια ρύπανση.

Θερμικοί σταθμοί με ΜΕΚ

Οι αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν μηχανέςεσωτερικής καύσης Diesel και βρίσκονται συνήθως σε πολλά νησιά της χώρας μας.Οι μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται διότι ο αεροστρόβιλος είναι ασύμφορος για μικρές ισχύς πχ της τάξης των μερικών MW.Οι MEK ονομάζονται έτσι διότι η καύση του καυσίμου γίνεται μέσα σε αυτές ενώ στους ατμοστροβίλους γίνεται έξω από αυτούς (στον λέβητα).

Τα βασικά πλεονεκτήματα των μηχανών Diesel ως προς τις ατμοκίνητες είναι:

1. Οι MEK είναι ελαφρότερες για την ίδια ισχύ.
2. Μπαίνουν σε λειτουργία και φορτίζονται αμέσως.
3. Δεν έχουν πολύπλοκες εγκαταστάσεις.
4. Έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης σε μικρές και μέσες ισχύς (ως 5 MW).
5. Χρειάζονται λιγότερο χώρο για τις εγκαταστάσεις.
6. Λειτουργούν με λίγο προσωπικό.

Τα βασικά μειονεκτήματα είναι:

1. Χρειάζονται συχνά συντήρηση και ειδικευμένο προσωπικό.
2. Παθαίνουν συχνά βλάβες.

Θερμικοί σταθμοί με αεροστροβίλους

Οι αεροστροβίλοι είναι περιστροφικές μηχανές όπως οι ατμοστροβίλοι και ανήκουν στις MEK. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ελαφρύ πετρέλαιο με απόσταση αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο βαρύτερο πετρέλαιο όσο και φυσικό αέριο.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αεροστροβίλων (ανοικτού, κλειστού, μικτού κυκλώματος) αλλά σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά οι αεροστροβίλοι ανοικτού κυκλώματος.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των αεροστροβίλων σε σχέση με τους ατμοστροβίλους είναι:

1. Οι αεροστροβίλοι είναι απλούστερες μηχανές οπότε χρειάζονται λιγότερο και λιγότερο ειδικευμένο προσωπικό και απλούστερη συντήρηση.
2. Δεν χρειάζονται νερό τροφοδοσίας.
3. Ξεκινούν εύκολα και γρήγορα φτάνουν στην πλήρη φόρτιση με αποτέλεσμα να μπορούν να εξυπηρετήσουν αιχμές φορτίου.
4. Έχουν χαμηλές πιέσεις λειτουργίας.

Τα βασικά μειονεκτήματα των αεροστροβίλων σε σχέση με τους ατμοστροβίλους είναι:

1. Τα καύσιμά τους είναι ακριβά.
2. Έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης.

