

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ (1601)



## ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΕ ΓΕΛ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

ΑΝΔΡΙΑΝΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΠΛΑΚΩΤΑΡΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΗΛΙΑΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016



---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας προϋποθέτει και την συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε φορητές συσκευές όπως, (π.χ. laptops, κινητά τηλέφωνα-smartphones), συσκευές τις οποίες χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητα μας, καθώς αυτές οι συσκευές αποτελούν και ένα κομμάτι της εργασίας μας. Οι συσκευές αυτές χρειάζονται ένα μέσο για την αποθήκευση ενέργειας.

Το πιο γνωστό μέσο αποθήκευσης ενέργειας είναι η μπαταρία, η οποία πρέπει να βελτιώνεται συνεχώς και θα πρέπει να συμβαδίζει με τις υψηλές απαιτήσεις των εφαρμογών τους.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να γίνει ανάλυση των μπαταριών νέου τύπου με gel ιόντων λιθίου. Θα αναλύσουμε την συγκεκριμένη μπαταρία ξεκινώντας αρχικά από μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη της μπαταρίας.

Στη συνέχεια θα γίνει πλήρης ανάλυση από τα στοιχεία που αποτελείται η μπαταρία ιόντων λιθίου. Ένα στοιχείο της συγκεκριμένης μπαταρίας είναι και το gel το οποίο είναι ένα είδος ηλεκτρολύτη. Υπάρχουν και άλλα είδη ηλεκτρολυτών τα οποία θα αναφερθούνε, αλλά σε αυτή την εργασία θα δοθεί περισσότερη έμφαση στο gel ηλεκτρολύτη.

Όπως όλες οι μπαταρίες έτσι και οι αυτές έχουνε πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στα οποία θα αναφερθούμε, επίσης θα δούμε τα χαρακτηριστικά φόρτισης μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Τέλος θα αναφερθούμε σε κάποιες εφαρμογές όπου χρησιμοποιούμε τις μπαταρίες αυτές και θα αναφερθούμε στη βελτίωση και την εξέλιξη της μπαταρίας ιόντων λιθίου.



---

## Περιεχόμενα

Πρόλογος / Περίληψη.....	iii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 Ιστορική Αναδρομή Μπαταρίας.....	2
3 ΟΡΟΛΟΓΙΕΣ .....	6
4 Μπαταρίες ιόντων λιθίου .....	9
4.1 Ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών .....	9
4.1.1 Πρωτεύουσες μπαταρίες (primary batteries).....	9
4.1.2 Δευτεροβάθμιες μπαταρίες (secondary or rechargeable) .....	9
4.2 Γενικά για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου .....	10
4.3 Λειτουργία μπαταρίας ιόντων λιθίου .....	12
4.3.1 Θετικό ηλεκτρόδιο .....	13
4.3.2 Αρνητικό ηλεκτρόδιο .....	17
4.3.3 Ηλεκτρολύτης.....	18
5 Μπαταρίες νέου τύπου με gel ιόντων λιθίου .....	22
5.1 Εισαγωγή .....	22
5.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα .....	23
6 Ασφάλεια της μπαταρίας με gel ιόντων λιθίου.....	26
7 Γήρανση της μπαταρίας με gel ιόντων λιθίου .....	28
7.1 Ανακύκλωση Μπαταριών ιόντων λιθίου.....	30
8 Χαρακτηριστικά Φόρτισης των Μπαταριών ιόντων λιθίου .....	32
9 Εφαρμογές μπαταριών ιόντων λιθίου .....	36
10 Μελλοντικά θέματα.....	39
10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	41
Βιβλιογραφίες.....	43



---

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή δημιουργήθηκε με σκοπό την ανάλυση της μπαταρίας ιόντων λιθίου με gel ηλεκτρολύτη, αλλά και να δούμε και γενικά θέματα για την μπαταρία ιόντων λιθίου, όπως την λειτουργία της τα μέλη που την αποτελούν κ.ά.

Αρχικά στο κεφάλαιο 2 θα κάνουμε μία ιστορική αναδρομή, στην οποία θα αναφερθούμε στην δημιουργία της μπαταρίας την εξέλιξη της, αλλά και το πώς φτάσαμε να χρησιμοποιούμε τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Στο κεφάλαιο 3 θα γίνει αναφορά σε κάποιες ορολογίες, που χρησιμοποιούνται για τις μπαταρίες και η ανάλυσή τους θα μας βοηθήσει στην κατανόηση αυτών των εννοιών.

Στο κεφάλαιο 4 θα αναφερθούμε αρχικά στους δύο τύπους στους οποίους χωρίζονται οι μπαταρίες, οι οποίοι είναι οι πρωτεύουσες και οι δευτερεύουσες. Στη συνέχεια του ίδιου κεφαλαίου θα ξεκινήσουμε να αναλύουμε τις μπαταρίες Li-ion, καθώς θα γίνει ανάλυση για τα μέρη της μπαταρίας, θα δούμε την λειτουργία της μπαταρίας Li-ion καθώς και τις επιδόσεις τις οποίες έχει μία τυπική μπαταρία Li-ion.

Στο κεφάλαιο 5 θα γίνει η ανάλυση της μπαταρίας ιόντων λιθίου με gel ηλεκτρολύτη, και στην συνέχεια θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής της μπαταρίας.

Στο κεφάλαιο 6 θα δούμε για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας ιόντων λιθίου και θα αναφέρουμε και κάποιους παράγοντες που την καταστρέφουν και την οδηγούν στην καταστροφή της.

Στο κεφάλαιο 7 θα αναφερθούμε στην ασφάλεια της μπαταρίας ιόντων λιθίου, και θα γίνει και αναφορά για την ανάγκη της ανακύκλωσης της μπαταρίας, επίσης θα δούμε ποια υλικά είναι αυτά που ανακυκλώνονται σε μία μπαταρία ιόντων λιθίου.

Στο κεφάλαιο 8 θα δούμε τον μηχανισμό που έχει μία μπαταρία Li-ion για να φορτίσει αλλά και να αποφορτίσει, καθώς και τα στάδια φόρτισής της.

Στο κεφάλαιο 9 θα δούμε διάφορες εφαρμογές όπου έχει επικρατήσει η χρήση της μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Στο κεφάλαιο 10 θα καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα τα οποία θα βγούνε από όλα αυτά που θα αναλύσουμε, καθώς θα δούμε και κάποια θέματα που αφορούν το μέλλον της μπαταρίας ιόντων λιθίου, αλλά και μία νέα μπαταρία η οποία θα διαρκεί για πολλά χρόνια.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Το 1780, ο Luigi Galvani έκανε ανατομία σε έναν βάτραχο που είχε τοποθετηθεί σε έναν γάντζο από ορείχαλκο. Όταν άγγιξε το πόδι του με το σιδερένιο νυστέρι του, το πόδι τινάζόταν. Ο Galvani πίστευε ότι η ενέργεια που οδηγούσε σε αυτή την σύσπαση, προήλθε από το ίδιο το πόδι, και το ονόμασε «ζωικό ηλεκτρισμό».

Ωστόσο, ο Alessandro Volta, διαφώνησε θεωρώντας ότι το φαινόμενο αυτό προκλήθηκε από δύο διαφορετικά μέταλλα που ενώνονται μεταξύ τους με ένα υγρό ενδιάμεσα. Η υπόθεσή του αυτή είχε επαληθευτεί μέσα από πείραμα, το οποίο δημοσιεύθηκε το 1791. Το 1976 ανακάλυψε ότι μπορούσε να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα χαρτόνι διαποτισμένο με άλμη. Έτσι οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι ο ηλεκτρισμός παράγεται από την επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων με κάποιο υγρό συνδετικό υλικό. Εφαρμόζοντας τις απόψεις του άρχισε να πειραματίζεται φέρνοντας σε επαφή διάφορα μέταλλα και γρήγορα πείσθηκε ότι είχε δίκιο.

Το 1800, ο Volta κατασκεύασε την βολταϊκή στήλη, μία συσκευή που παρήγαγε συνεχώς ηλεκτρισμό, εφόσον αυτός απαγόταν από τη συσκευή. Έτσι δημιουργούσαν ένα ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο αποδείχθηκε πολύ πιο χρήσιμο από το ακίνητο φορτίο του στατικού ηλεκτρισμού.

Αρχικά ο Volta χρησιμοποίησε λεκάνες με αλατούχο διάλυμα για να παραγάγει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι λεκάνες συνδέονταν με μεταλλικά τόξα που περνούσαν από τη μία λεκάνη στην άλλη. Το ένα άκρο του μεταλλικού τόξου ήταν από χαλκό και το άλλο από κασσίτερο ή ψευδάργυρο. Αφού κάθε ομάδα ομοίων αντικειμένων αποτελεί μία συστοιχία, η συσκευή του Volta ήταν μία ηλεκτρική συστοιχία ή ηλεκτρική στήλη.

Ο Volta έκανε την συσκευή του πιο μικρή και περιόρισε τα υγρά που χρειαζόνταν για την λειτουργία της, χρησιμοποιώντας μικρές κυκλικές πλάκες από χαλκό και ψευδάργυρο και μικρούς δίσκους χαρτονιού που ήταν διαποτισμένοι με αλατούχο διάλυμα. Τοποθέτησε διαδοχικά δίσκους (από κάτω προς τα πάνω) χαλκού, ψευδαργύρου, χαρτονιού – χαλκού, ψευδαργύρου, χαρτονιού και ούτε καθεξής. Όταν το πάνω και το κάτω μέρος της συστοιχίας ενώνονταν με ένα σύρμα, παραγόταν ηλεκτρικό ρεύμα. Η ανακοίνωση αυτής της εφεύρεσης έγινε το 1800. Στην εικόνα 1 βλέπουμε την ηλεκτρική στήλη του Volta ή βολταϊκή στήλη [1, 2].





**Σχήμα 1.1: Ηλεκτρική στήλη του Βόλτα**

Οι μπαταρίες λιθίου προτάθηκαν από τον M Stanley Whittingham. Ο Whittingham χρησιμοποίησε σουφλίδιο τιτανίου (IV) και μέταλλο λιθίου ως ηλεκτρόδια. Ωστόσο, αυτή η επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου δεν θα μπορούσε να γίνει πράξη. Η Εχchon για την οποία εργαζόταν ο Whittingham αναγκάστηκε να διακόψει την ανάπτυξη της μπαταρίας αυτής, διότι ήταν πολύ ακριβά τα υλικά.

Οι μπαταρίες λιθίου με μεταλλικά ηλεκτρόδια λιθίου παρουσιάζουν ζητήματα ασφαλείας, καθώς το λίθιο είναι εξαιρετικά δραστικό στοιχείο, καίγεται σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες λόγω της παρουσίας νερού και οξυγόνου. Ως αποτέλεσμα, η έρευνα κατευθύνθηκε προς την ανάπτυξη στηλών όπου, αντί για μεταλλικό λίθιο, χρησιμοποιήθηκαν ενώσεις λιθίου οι οποίες ήταν ικανές να δέχονται και να απελευθερώνουν ιόντα λιθίου.

Το 1970, ο Jo Besenhard πρότεινε τον γραφίτη για την άνοδο και οξείδια για την κάθοδο. Ο Besenhard πρότεινε την εφαρμογή αυτών, στα κελιά του λιθίου. Η αποσύνθεση του ηλεκτρολύτη και του διαλύτη με την παρεμβολή του γραφίτη, ήταν σοβαρά μειονεκτήματα για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

- Το 1973 ο Adam Heller, πρότεινε μία μπαταρία θειονυχλωριδίου λιθίου, όπου εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε εμφυτευμένες ιατρικές συσκευές και συστήματα άμυνας, όπου διαρκούν 20 χρόνια με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας.

- Το 1977 ο Samar Basu έκανε παρεμβολή ηλεκτροχημική παρεμβολή λιθίου σε γραφίτη στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνιας. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη ενός λειτουργικού λιθίου, παρεμβάλλοντας ηλεκτρόδιο γραφίτη ( $\text{LiC}_6$ ) ώστε να παρέχει μία εναλλακτική λύση για την μπαταρία λιθίου με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.
- Το 1979 ξεχωριστές ομάδες στο πανεπιστήμιο του Στάνφορντ ο Ned A Godshall *et al*, και το επόμενο έτος στο πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, ο John Goodenough και ο Koichi Mizushima, έδειξαν μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου με τάση στα 4 V χρησιμοποιώντας οξείδιο του κοβαλτίου ( $\text{LiCoO}_2$ ) σαν θετικό ηλεκτρόδιο και μέταλλο λιθίου σαν αρνητικό ηλεκτρόδιο. Το  $\text{LiCoO}_2$  είναι ένα σταθερό υλικό για θετικό ηλεκτρόδιο, το οποίο δρα ως δότης ιόντων λιθίου, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο το οποίο μπορεί να μην αποτελείται από μέταλλο λιθίου.
- Το 1980 ο Rachid Yazami ανακάλυψε τις ηλεκτροχημικές ιδιότητες της παρεμβολής λιθίου στον γραφίτη. Οι οργανικοί ηλεκτρολύτες θα αποσυντίθενται κατά την φόρτιση με γραφίτη για αρνητικό ηλεκτρόδιο, επιβραδύνοντας έτσι την ανάπτυξη μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας λιθίου /γραφίτη. Έτσι ο Yazami χρησιμοποίησε στέρεο ηλεκτρολύτη για να αποδείξει ότι το λίθιο μπορεί να παρεμβάλλεται αναστρέψιμα σε γραφίτη μέσω ενός ηλεκτροχημικού μηχανισμού.( Από το 2011 το ηλεκτρόδιο γραφίτη που ανακάλυψε ο Yazami είναι το πιο συχνό ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου).
- Το 1983 ο Michael M. Thackeray, ο John Goodenough, και οι συνεργάτες τους, ανακάλυψαν ένα νέο υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο, το σπινέλιο του μαγγανίου. Το σπινέλιο έδειξε πολύ καλά χαρακτηριστικά, όπως χαμηλό κόστος, καλή ηλεκτρονική και ιοντική αγωγιμότητα του λιθίου, έχει και τρισδιάστατη δομή, που δίνει καλή δομική σταθερότητα. Από το 2013 το σπινέλιο του μαγγανίου χρησιμοποιήθηκε σε εμπορικά κελιά.
- Το 1991 η Sony και η Asahi Kasei κυκλοφόρησε την πρώτη εμπορική μπαταρία ιόντων λιθίου.
- Το 1996 ο John Goodenough, ο Akshaya Padhi και οι συνεργάτες τους, πρότειναν το φωσφορικό άλας σιδήρου λιθίου ( $\text{LiFePO}_4$ ) και άλλα phospho-olivines (φωσφορικά άλατα μετάλλων λιθίου με olivine δομή), ως υλικά καθόδων για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.
- Το 2002 ο Ming Chiang και η ομάδα του στο MIT παρουσίασαν μία σημαντική βελτίωση στην απόδοση των μπαταριών λιθίου με την ενίσχυση της αγωγιμότητας του υλικού, με την προσθήκη αλουμινίου, το νιόβιο και το ζirkόνιο.
- Το 2004 ο Chiang αύξησε ξανά την απόδοση της μπαταρίας, με την χρήση σωματιδίων φωσφορικού σιδήρου (III) σε διάμετρο μικρότερη από 100 nm. Αυτή η μειωμένη πυκνότητα των σωματιδίων, αύξησε την επιφάνεια του θετικού ηλεκτροδίου και βελτίωσε τις επιδόσεις της μπαταρίας. Η εμπορευματοποίηση οδήγησε σε ταχεία ανάπτυξη της αγοράς της, καθώς και

μία διαμάχη μεταξύ του Chiang και του John Goodenough, οι οποίοι έκαναν αυτή την ανακάλυψη

- Το 2011 οι μπαταρίες ιόντων λιθίου οι πωλήσεις των δευτερογενών μπαταριών (δηλαδή των επαναφορτιζόμενων), κάλυπταν το 66% των πωλήσεων στην Ιαπωνία
- Το 2014 οι εμπορικές μπαταρίες από την Amprius Corp όπου παραδόθηκαν και στους καταναλωτές, είχαν ενεργειακή πυκνότητα 650 Wh / L (μία αύξηση του 20%), χρησιμοποιώντας μία άνοδο πυριτίου. [3]

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

### ΟΡΟΛΟΓΙΕΣ

Στα επόμενα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα δούμε κάποιες ορολογίες και εδώ θα κάνουμε μία ανάλυση της κάθε μίας ορολογίας, ώστε να μπορούμε να έχουμε καλύτερη κατανόηση των εννοιών αυτών, οι οποίες είναι οι εξής:

**Τάση:** Όλες οι μπαταρίες έχουν μια ονομαστική τάση, η οποία μας δείχνει περίπου την τιμή της τάσης όταν το στοιχείο παραδίδει ηλεκτρική ισχύ. Η τάση αυτή ανάλογα με το ρεύμα που την ρέει μεταβάλλεται. Όταν η μπαταρία μεταφέρει ισχύ στο φορτίο η τάση της μειώνεται ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η μπαταρία φορτίζεται.

**Χωρητικότητα:** Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι το ποσοστό ηλεκτρικού φορτίου που μπορούν να αποθηκεύσουν. Ένα μικρό κελί μπαταρίας έχει λιγότερη χωρητικότητα από ένα μεγαλύτερο κελί με την ίδια χημική σύσταση, αν και έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος. Η χωρητικότητα μετριέται σε Coulomb (C) ή ορίζεται ως το γινόμενο του ρεύματος με τις ώρες δηλαδή τα αμπερώρια (Ah), όπου 1Ah ισούται με 3600 C. Για παράδειγμα μία μπαταρία η οποία μπορεί να προσφέρει χωρητικότητα 500 mAh μπορεί να δώσει ρεύμα 500 mA για 1 ώρα, ή 250 mA για 2 ώρες, ή 50 mA για 10 ώρες κ.ο.κ. Όπως είδαμε η χωρητικότητα εξαρτάται από το μέγεθος του κελιού της μπαταρίας, εξαρτάται όμως και από άλλους παράγοντες όπως, την τάση, την θερμοκρασία, και το ρυθμό αποφόρτισης όπου όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αποφόρτισης τόσο μικρότερη χωρητικότητα θα έχουμε [4, 5].

**Ιοντική Αγωγιμότητα:** Γενικά η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από μία ηλεκτρική αντίσταση. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δείχνει την απόκριση του υλικού εάν εφαρμοστεί σε αυτό διαφορά δυναμικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα του υλικού, τόσο περισσότερο θα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που θα περάσει εντός του υλικού. Στην ιοντική αγωγιμότητα, μέσα σε ένα διάλυμα με ιόντα, όπου τα ιόντα έχουν ηλεκτρικό φορτίο, και μπορούν να κινηθούν ελεύθερα μέσα στο υγρό. Εφαρμόζοντας διαφορά δυναμικού στο υγρό τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο, ενώ τα κατιόντα προς την κάθοδο προσδίδοντας το ηλεκτρικό τους φορτίο στους ακροδέκτες. Η ροή ηλεκτρικού ρεύματος σχετίζεται άμεσα με χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν ταυτόχρονα μέσα στο διάλυμα, όπου διαφέρει ανάλογα με την κάθε χημεία που έχει το διάλυμα. [6]

**Ειδική Ενέργεια:** Η ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας ορίζεται η ποσότητα αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κιλό της μπαταρίας (Wh/kg), όπου

$Wh=V \cdot Ah$ . Η θεωρητική ειδική ενέργεια είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερη από αυτήν που έχει πραγματικά η μπαταρία.

**Ενεργειακή Πυκνότητα:** Η ενεργειακή πυκνότητα είναι το συνολικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει μία μπαταρία ανά μονάδα του όγκου της. Ισχύει για συγκεκριμένη περίοδο φόρτισης/αποφόρτισης και καθορίζει το μέγεθος, δηλαδή όσο μεγαλύτερη η ενεργειακή πυκνότητα τόσο μικρότερο το μέγεθος της μπαταρίας. Η μονάδα μέτρησης της ενεργειακής πυκνότητας είναι (Wh/L). [7]

**Ειδική Ισχύς:** Η ειδική ισχύς μιας μπαταρίας ορίζεται ως η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους (Wh/g) της μπαταρίας που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η ειδική ισχύς είναι σημαντική για την μείωση του βάρους της μπαταρίας. Η ειδική ισχύς εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική αντίσταση. [8]

**Εσωτερική Αντίσταση:** Η αντίσταση αυτή εξαρτάται από τα χημικά στοιχεία που αποτελούν την μπαταρία. Η μπαταρία περιέχει μέσα χημικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για να αποθηκεύουν την τάση, όμως αυτά τα χημικά στοιχεία παρουσιάζουν αντίσταση στο ρεύμα, Γενικά η εσωτερική αντίσταση μίας μπαταρίας εξαρτάται από το μέγεθος της μπαταρίας, τις χημικές της ιδιότητες, την θερμοκρασία καθώς και το ρεύμα αποφόρτισης.

**Βαθμός C:** Τα ποσοστά φόρτισης και αποφόρτισης μιας μπαταρίας καθορίζονται από τον βαθμό C. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας συνήθως βαθμολογείται με 1C, που σημαίνει ότι μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία με χωρητικότητα 1Ah θα πρέπει να παρέχει 1 A για μία ώρα. Στην ίδια μπαταρία ο ρυθμός αποφόρτισης με βαθμό 0.5C θα πρέπει να παρέχουν 500 mA για 2 ώρες, και με βαθμό 2C παρέχει 2 A για 30 λεπτά. Ένας βαθμός 1C είναι επίσης γνωστό σαν μία ώρα αποφόρτισης, με βαθμό 0.5C ή C/2 η διάρκεια αποφόρτισης θα είναι 2 ώρες, ενώ με βαθμό 0.2C ή C/5 η διάρκεια αποφόρτισης της μπαταρίας θα είναι 5 ώρες. Στον παρακάτω πίνακα 1 βλέπουμε ενδεικτικά κάποιους βαθμούς C σε σχέση με τον χρόνο, που καθορίζουν την διάρκεια των φορτίσεων και των αποφορτίσεων της μπαταρίας.

<b>Βαθμός C</b>	<b>Χρόνος</b>
5C	12 λεπτά
2C	30 λεπτά
1C	1 ώρα
0.5C ή C/2	2 ώρες
0.2C ή C/5	5 ώρες
0.1C ή C/10	10 ώρες
0.05C ή C/20	20 ώρες

**Πίνακας 1:** Ενδεικτικές τιμές Βαθμών C και διάρκεια σε χρόνο για την φόρτιση και την αποφόρτιση μιας μπαταρίας. [9]

**Αυτό-αποφόρτιση (Self-discharged):** Οι μπαταρίες ακόμα και να μη χρησιμοποιούνται έχουνε μία αυτό-αποφόρτιση. Οι μπαταρίες Li-ion έχουνε ένα ποσοστό αυτό-αποφόρτισης σύμφωνα με τους κατασκευαστές που κυμαίνεται περίπου στο 1.5-2% τον μήνα. Ο βαθμός αυτός αυξάνεται ανάλογα με την θερμοκρασία και τον τρόπο με τον οποίο φορτίζεται. Ο βαθμός αυτό-αποφόρτισης μπορεί να αυξηθεί καθώς η μπαταρία μεγαλώνει και αυτή σε χρόνο.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

### ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

#### 4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία και οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσες οι οποίες είναι μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή δευτερεύουσες οι οποίες είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, με βάση να επαναφορτίζονται ηλεκτρικά. Αυτές περιέχουν υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς.

##### 4.1.1 ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ (PRIMARY BATTERIES)

Αυτές οι μπαταρίες δεν έχουν την δυνατότητα εύκολης ή αποτελεσματικής ηλεκτρικής επαναφόρτισης και για τον λόγο αυτό όταν εκφορτιστούν μια φορά αυτές απορρίπτονται. Πολλά πρωτεύοντα στοιχεία στα οποία ο ηλεκτρολύτης περιέχεται σε ένα απορροφητικό ή διαχωριστικό υλικό (δεν υπάρχει ελεύθερος ή υγρός ηλεκτρολύτης) ονομάζονται «ξηρά στοιχεία».

Η πρωτεύουσα μπαταρία είναι μια βολική, συνήθως οικονομική, ελαφριά πηγή συσκευασμένης ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμό, παιχνίδια και μια σειρά από άλλες εφαρμογές. Στα πλεονεκτήματα αυτών των μπαταριών είναι η καλή διάρκεια ζωής «ραφιοῦ» (shelf life), έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς αποφόρτισης, δεν έχουν κάποιες απαιτήσεις για την συντήρησή τους και είναι εύκολες στη χρήση. [10]

##### 4.1.2 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ (SECONDARY OR RECHARGEABLE)

Αυτές οι μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά, μετά από την αποφόρτισή τους, στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος αποφόρτισης. Είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και είναι επίσης γνωστές σαν «μπαταρίες αποθήκευσης» storage batteries) ή « συσσωρευτές» (accumulators).

Οι εφαρμογές των δευτερευουσών μπαταριών χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Η μία κατηγορία είναι όταν χρησιμοποιούνται σαν μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, που συνήθως είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη και φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργειά της στο φορτίο όταν της

ζητηθεί. Κάποιες εφαρμογές της είναι σε συστήματα αυτοκινήτων και αεροπλάνων, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης για την ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου.

2. Η άλλη κατηγορία που χρησιμοποιείται η δευτερεύουσα μπαταρία είναι όταν χρησιμοποιείται η εκφορτίζεται σαν μια πρωτεύουσα μπαταρία, αντί όμως να απορρίπτεται μετά την χρήση της, αυτή επαναφορτίζεται. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες έχουν αρκετές εφαρμογές όπως, σε φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις, ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα, για μείωση του κόστους καθώς μπορούν να επαναφορτιστούν αντί να αντικατασταθούν και σε εφαρμογές όπου η άντληση ενέργειας είναι πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες πέρα από την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται, έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλό ρυθμό αποφόρτισης, επίπεδες καμπύλες αποφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι ενεργειακές τους πυκνότητες είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές των πρωτευουσών μπαταριών και η κατακράτηση φορτίου είναι επίσης φτωχότερη από ότι στις περισσότερες πρωτεύουσες μπαταρίες, όμως η χωρητικότητα που χάνεται σε μια δευτερεύουσα μπαταρία μπορεί να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση. [11]

## 4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Η αγορά των μπαταριών ιόντων λιθίου κατάφερε μέσα σε μία δεκαετία να μεταβεί από το στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης στην εμπορευματοποίηση έχοντας πολλές πωλήσεις. Η τεχνολογία των ιόντων λιθίου έγινε ταχύτατα η πρότυπη πηγή ενέργειας για ένα ευρύ σύνολο εφαρμογών και η απόδοση των συγκεκριμένων μπαταριών συνεχίζει να βελτιώνεται καθώς εφαρμόζεται σε όλο και περισσότερες πολυποικίλες εφαρμογές.

Μια μπαταρία ιόντων λιθίου ή μπαταρία Li-ion είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και ανήκει στην κατηγορία των δευτερευουσών μπαταριών. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές συσκευές και είναι οι δημοφιλέστερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για φορητές συσκευές όπως κινητά, laptops κ.ά. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μπαταρίες Li-ion έχουν πολλές χρήσεις και σε άλλες κατηγορίες χρήσης, εκτός των καταναλωτικών ηλεκτρονικών, όπως, στρατιωτικές εφαρμογές, ηλεκτρικά αυτοκίνητα και διαστημικές εφαρμογές. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου ανάλογα με τη χημική τους σύσταση χωρίζονται σε έξι βασικές κατηγορίες:

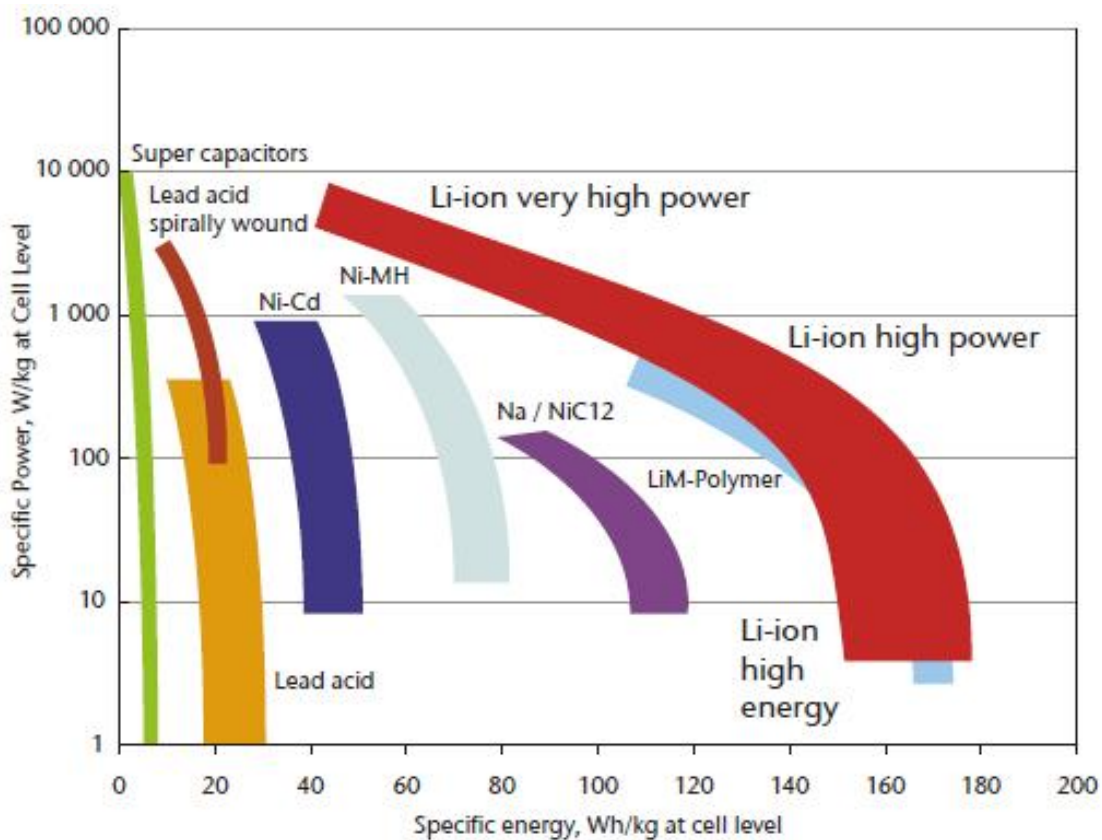
- Lithium cobalt oxide ( $\text{LiCoO}_2$ )
- Lithium iron phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ )
- Lithium Manganese cobalt oxide ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )
- Lithium nickel manganese cobalt oxide ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ )
- Lithium nickel cobalt aluminum oxide ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ )
- Lithium titanate ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )

Η κάθε μία από αυτές τις μπαταρίες έχουν την δικιά τους χημική σύσταση και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες



κατηγορίες. Κυρίως η διαφορά σε κάθε κατηγορία είναι η ειδική ενέργεια, η ειδική ισχύς, το κόστος, η ασφάλεια, η διάρκεια ζωής και η απόδοση της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να είναι επικίνδυνες κάτω από ορισμένες συνθήκες και ενέχουν κίνδυνο για την ασφάλεια δεδομένου ότι, σε αντίθεση με άλλες μπαταρίες, περιέχει ένα εύφλεκτο ηλεκτρολύτη και διατηρείται υπό πίεση. Εξαιτίας αυτού, τα πρότυπα δοκιμών για αυτές τις μπαταρίες είναι αυστηρότερες από εκείνες για τις μπαταρίες οξέως- ηλεκτρολύτη, που απαιτεί ένα ευρύτατο φάσμα συνθηκών δοκιμής. Στο παρακάτω διάγραμμα θα δούμε ένα διάγραμμα που μας παρουσιάζει την ειδική ενέργεια αλλά και την ειδική ισχύ, για διάφορους τύπους μπαταριών, καθώς και για την μπαταρία ιόντων λιθίου.



**Σχήμα 4.1:** Σύγκριση διάφορων τύπων μπαταριών σε σχέση με την ειδική τους ενέργεια και την ειδική τους ισχύ

#### 4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου, βασίζεται στη μετακίνηση ιόντων λιθίου μεταξύ της καθόδου και της ανόδου. Τα τρία κύρια στοιχεία που απαρτίζουν μια μπαταρία ιόντων λιθίου είναι το θετικό ηλεκτρόδιο, το αρνητικό ηλεκτρόδιο και ο ηλεκτρολύτης. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ενός συμβατικού στοιχείου ιόντων λιθίου είναι κατασκευασμένο από άνθρακα. Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι ένα οξειδίο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι ένα άλας λιθίου σε οργανικό διάλυμα. Οι ηλεκτροχημικοί ρόλοι των ηλεκτροδίων αλλάζουν μεταξύ της ανόδου και καθόδου, ανάλογα με τη διεύθυνση του ρεύματος που ρέει μέσα από στοιχείο. Ανάλογα με την επιλογή των υλικών, η τάση, η χωρητικότητα, η ζωή και η ασφάλεια μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου μπορεί να αλλάξουν δραματικά. Στο σημείο αυτό, αξίζει να δούμε ξεχωριστά τα τρία αυτά στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια μπαταρία ιόντων λιθίου, καθώς και τα υλικά από τα οποία αποτελούνται. Στον παρακάτω πίνακα 4.2 βλέπουμε τα γενικά χαρακτηριστικά των επιδόσεων των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Χαρακτηριστικά	Επιδόσεις
Τάση Λειτουργίας Κελιού	4.2 έως 2.5V
Ειδική Ενεργειακή Πυκνότητα	100 έως 250 Wh/kg
Ενεργειακή Πυκνότητα	250 έως 620 Wh/L
Δυνατότητα συνεχούς αποφόρτισης	Μέγιστο: 5C Τυπικό: 1C
Δυνατότητα στιγμιαίας αποφόρτισης	25C
Κύκλοι λειτουργίας	Τυπικά 3000
Κύκλοι λειτουργίας για φόρτισης από 20% έως 40%	Πάνω από 20000
Διάρκεια Ζωής	Πάνω από 5 χρόνια
Βαθμός αυτό-αποφόρτισης	2 έως 10% τον μήνα
Εύρος ζώνης της θερμοκρασίας	-40°C έως 65°C
Φαινόμενο Μνήμης	Όχι
Ειδική Ισχύς	300 έως 1500 W/kg

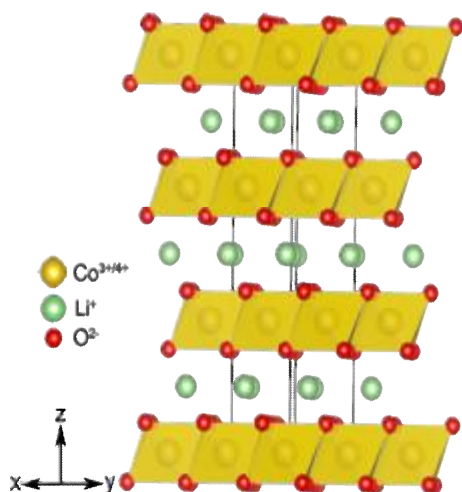
**Σχήμα 4.2:** Χαρακτηριστικά επιδόσεων μιας μπαταρίας Li-ion

### 4.3.1 ΘΕΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ

Ένα βιώσιμο υλικό ηλεκτροδίου πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές καθορίζουν την επιλογή και την ανάπτυξη των υλικών του θετικού ηλεκτροδίου. Για να υπάρξει η δυνατότητα μεγάλης χωρητικότητας, τα υλικά πρέπει να ενσωματώνουν μεγάλες ποσότητες λιθίου. Επιπλέον η αντιστρεπτή ανταλλαγή του λιθίου αυτού πρέπει να πραγματοποιείται με μικρή αλλαγή στη δομή των υλικών έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή ηλεκτρική και ενεργειακή αποδοτικότητα. Για την επίτευξη υψηλής τάσης στοιχείου και υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, η αντίδραση ανταλλαγής λιθίου πρέπει να πραγματοποιείται σε υψηλό δυναμικό σε σχέση με το λίθιο. Όταν ένα στοιχείο φορτίζεται ή εκφορτίζεται, ένα ηλεκτρόνιο απομακρύνεται ή επιστρέφει στο θετικό υλικό. Για να μπορεί αυτή η διαδικασία να πραγματοποιηθεί σε υψηλό ρυθμό, πρέπει η ηλεκτρονική αγωγιμότητα και η κινητικότητα των ιόντων λιθίου ( $\text{Li}^+$ ) στο υλικό να είναι υψηλή. Ακόμη, το υλικό πρέπει να είναι συμβατό με τα υπόλοιπα υλικά στο στοιχείο και, πιο συγκεκριμένα να μην είναι διαλυτό στον ηλεκτρολύτη. Τέλος, το υλικό πρέπει να έχει αποδεκτό κόστος. Παρακάτω θα δούμε κάποια υλικά από τα οποία αποτελείται ένα θετικό ηλεκτρόδιο και θα γίνει και ανάλυση αυτών των υλικών. [12]

#### • $\text{LiCoO}_2$

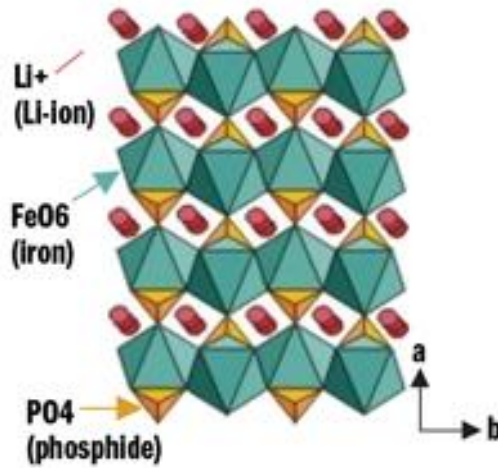
Το οξειδίο κοβαλτίου λιθίου είναι το πιο γνωστό καθοδικό υλικό, καθώς έχει σταθερή δομή, είναι εύκολο στην παρασκευή του, και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Σε θερμοκρασία δωματίου το σύστημα  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  παρουσιάζει σταθερότητα για πολλούς κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης. Αν και η θεωρητική του ειδική χωρητικότητα είναι 273 mAh/g αυτή περιορίζεται περίπου στις 140 mAh/g. Η θερμική του σταθερότητα αποτελεί επίσης ένα σημαντικό ζήτημα ασφαλείας. Σε υψηλές θερμοκρασίες ή σε υψηλότερα δυναμικά, η φορτισμένη κάθοδος  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$  αποσυντίθεται. Το οξειδίο του κοβαλτίου δεν πρέπει να φορτίζεται και να αποφορτίζεται με ρεύμα που ξεπερνά τα ονομαστικά Ah. Αν γίνει γρήγορη φόρτιση ή την φόρτιση με βαθμό πάνω από 1C θα προκαλέσει υπερθέρμανση. Οι κατασκευαστές συνιστούν έναν βαθμό φόρτισης 0.8C, και τα περισσότερα κυκλώματα προστασίας για αυτή την χημεία το όριο φόρτισης και αποφόρτισης είναι περίπου στο 1C. Η αντίδραση αποσύνθεσης αποδίδει οξυγόνο, το οποίο μπορεί να αντιδράσει εξώθερμα με τον οργανικό ηλεκτρολύτη ή τα πρόσθετα της καθόδου, οδηγώντας σε έντονη θερμική άνοδο του κελιού. Το υλικό αυτό έχει και μειονεκτήματα όπως, μεγάλο κόστος και είναι τοξικό και παρουσιάζει θέματα ασφαλείας. Το εύρος τιμών της συγκέντρωσης σε λίθιο κυμαίνεται  $0.5 < x < 1$  στο  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$ , με την τάση διακοπής να βρίσκεται περίπου στα 4.2 V. Για έχουμε θεωρητική χωρητικότητα 50% περισσότερη από την θεωρητική, κάποια από τις διαδικασίες φόρτισης πρέπει να υπερβεί την τάση των 4.2 V. Στη περίπτωση αυτή όμως, θα έχουμε μια γρήγορη απώλεια χωρητικότητας, με τον αυξανόμενο αριθμό κύκλων. Η μπαταρία που περιέχει οξειδίο του κοβαλτίου για κάθοδο και γραφίτη για άνοδο. Το οξειδίο του κοβαλτίου είναι η πρώτη μπαταρία ιόντων λιθίου, και λόγω της χημείας της, προτιμήθηκε για laptops, κινητά τηλέφωνα, και ψηφιακές κάμερες. [13, 14]



**Σχήμα 4.3:** Η δομή του LiCoO<sub>2</sub>

· **LiFePO<sub>4</sub>**

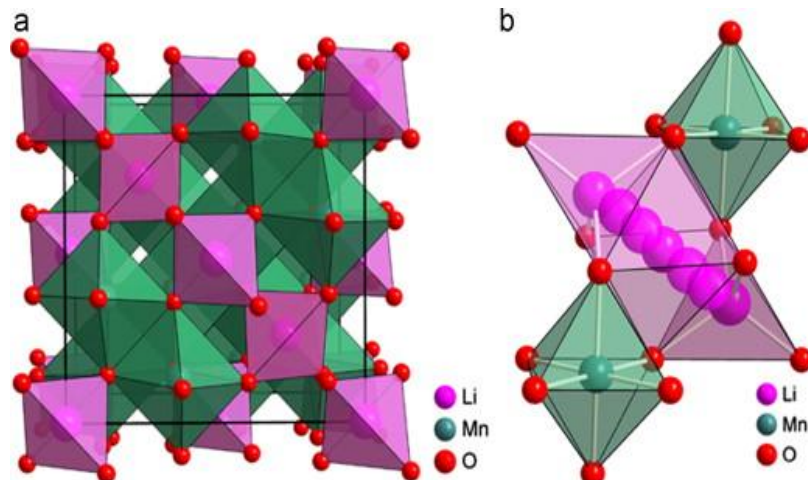
Τα υλικά καθόδου LiCoO<sub>2</sub> όπως προαναφέραμε έχουν υψηλό κόστος, είναι τοξικά και έχουν θέματα ασφαλείας. Έτσι η χρήση τους περιορίζεται στις εφαρμογές των μικρών μπαταριών ιόντων λιθίου. Για τον λόγο αυτό έχει υπάρξει εντατική έρευνα για την ανάπτυξη νέων υλικών καθόδου με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τα παραπάνω κριτήρια. Το LiFePO<sub>4</sub> έχουν χαμηλότερο κόστος και είναι λιγότερο τοξικά από τα LiCoO<sub>2</sub>, παρ' όλα αυτά παραμένει υψηλό το κόστος ενός υλικού LiFePO<sub>4</sub>. Διαθέτει υψηλή χημική και θερμική (>85°C) σταθερότητα, χαμηλή αντίσταση και καλή ηλεκτροχημική συμπεριφορά σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Η θεωρητική τους ειδική χωρητικότητα είναι περίπου 170 mAh/g, όμως περιορίζεται στα 130 mAh/g. Και αυτό το υλικό παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όπως, χαμηλότερο δυναμικό από το LiCoO<sub>2</sub>. Η χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση του κελιού και συνεπώς σε μη επιθυμητή ηλεκτροχημική συμπεριφορά σε μεγάλους ρυθμούς φόρτισης/αποφόρτισης λόγω της δυσκολίας στη διαδικασία εισαγωγής/εξαγωγής του Li. Κάποιες τυπικές χρήσεις αυτού του υλικού είναι, τα ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικό σύστημα κίνησης, γενικά για όλο και μεγαλύτερα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. [15]



**Σχήμα 4.4:** Η δομή του LiFePO<sub>4</sub>

· LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Το LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ανήκει στη κατηγορία των σπινελικών οξειδίων. Τα σπινέλια έχουν γενικό τύπο AB<sub>2</sub>X<sub>4</sub> και ο κρύσταλλος είναι βασισμένος στη δομή του MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> θεωρείται ως ένα από τα υποσχόμενα καθοδικά υλικά για τις LIBs λόγω της ασφάλειας στην χρήση τους, τη φιλικότητα στο περιβάλλον και το χαμηλό κόστος. Το σπινελικό Li<sub>1-x</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> έχει ειδική χωρητικότητα 148 mAh/g για x=0 μέχρι 1. Εξαιτίας της διάλυσης του Mn<sup>2+</sup> που προκαλείται από την αντίδραση μεταξύ του LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> και του ηλεκτρολύτη κατά την φόρτιση/αποφόρτιση, παρουσιάζει μικρή σταθερότητα στη χωρητικότητα σε πολλούς κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης και σε υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, από την αστάθεια της δομής προκαλείται μείωση της πρακτικής χωρητικότητας η οποία είναι (≤120 mAh/g) καθώς και της σταθερότητας της χωρητικότητας στις υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος θα έπρεπε να αναφέρουμε ότι έχει πολύ καλή ροή των ιόντων μεταξύ των ηλεκτροδίων. [16]



**Σχήμα 4.5:** Η δομή του  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$

Χαρακτηριστικά	$\text{LiCoO}_2$	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	$\text{LiFePO}_4$
Τάση ανά κελί	3.60 / 3.70V	3.80V	3.30V
Όριο τάσης κατά την φόρτιση	4.20V	4.20V	3.60V
Κύκλοι ζωής	500-1,000	500-1,000	1.000-2,000
Θερμοκρασία λειτουργίας	Μέτρια	Μέτρια	Καλή
Ειδική Ενέργεια	150-190 Wh/kg	100-135 Wh/kg	90-120 Wh/kg
Ειδική Ισχύς	1C	10C, 40C διακεκομμένα	35C Συνεχόμενα
Ασφάλεια	Χαμηλή Ασφάλεια	Μέτρια Ασφάλεια	Ασφαλέστερη Li-ion
Μέγιστη Θερμοκρασία	150°C (302°F)	250°C (482°F)	270°C (518°F)
Κόστος	Υψηλό κόστος του κοβαλτίου	Μέτριο	Υψηλό
Έτος που κατασκευάστηκε	1994	1996	1999
Σημειώσεις	Υψηλή ειδική ενέργεια αλλά περιορισμένη ισχύ, χρήση σε laptops, κινητά τηλέφωνα	Υψηλή ισχύς, καλή ειδική ενέργεια, χρήση σε ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα, ιατρικές συσκευές	Υψηλή ισχύς, μέτρια ενέργεια, σκληρό και ασφαλές, επίπεδη καμπύλη αποφόρτισης

**Σχήμα 4.6:** Συνοπτικός πίνακας χαρακτηριστικών των υλικών που χρησιμοποιούνται για το θετικό ηλεκτρόδιο,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$  [17]

### 4.3.2 ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ

Κατά την διάρκεια της φόρτισης η άνοδος είναι αυτή όπου γίνεται η εισαγωγή του Li, έτσι τα υλικά αυτά που πρέπει να αποτελούν την άνοδο πρέπει να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες Li. Σε μια μπαταρία ιόντων λιθίου για την επιλογή του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για το αρνητικό ηλεκτρόδιο πρέπει να πληρούν κάποιες ιδιότητες, οι οποίες είναι οι εξής:

- ∅ Χαμηλό κόστος
- ∅ Χαμηλή τοξικότητα
- ∅ Μεγάλη διάρκεια ζωής κατά τη φόρτιση/αποφόρτιση
- ∅ Υψηλός ρυθμός εισόδου/εξόδου του λιθίου
- ∅ Δυνατότητα μεγάλης αποθήκευσης λιθίου
- ∅ Μεγάλη ηλεκτρονική αγωγιμότητα μεταξύ των σωματιδίων
- ∅ Μεγάλη αντοχή του ηλεκτροδίου κατά την παρεμβολή μεγάλων ποσοτήτων λιθίου

Ο γραφίτης αποτελεί το πιο γνωστό υλικό ανόδου καθώς έχει πάρα πολύ καλά χαρακτηριστικά, όπως το χαμηλό δυναμικό λειτουργίας vs Li, το χαμηλό κόστος του και την καλή διάρκεια ζωής κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης. Ο γραφίτης επιτρέπει την ενσωμάτωση μόνο ενός ιόντος λιθίου Li για έξι άτομα άνθρακα, με τελική στοιχειομετρία  $\text{LiC}_6$  και συνεπώς μια ισοδύναμη αντιστρεπτή χωρητικότητα 373 mAh/g. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση του γραφίτη από ανοδικά υλικά τα οποία θα έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, πυκνότητα ενέργειας και ισχύος. Το μεταλλικό Li κατέχει την υψηλότερη χωρητικότητα 3862 mAh/g, όμως θέματα ασφαλείας δεν επιτρέπουν την χρήση τους ως ανοδικό υλικό στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Το οξειδίο του τιτανίου είναι ένα υλικό το οποίο έχουν μελετηθεί λόγω του ότι μπορούν να κατασκευαστούν σε μέγεθος νανομέτρων και λόγω της μεγάλης ασφάλειας που παρέχουν. Το υλικό αυτό που έχει μελετηθεί είναι το  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . Το δυναμικό λειτουργίας αυτών των οξειδίων είναι μεταξύ 1.2 V και 2.0 V vs Li. Η θεωρητική χωρητικότητα είναι χαμηλότερη, και η τάση υψηλότερη από τον γραφίτη, δηλαδή  $170 \text{ mAhg}^{-1}$  έναντι  $370 \text{ mAhg}^{-1}$  και 1.5 V vs Li έναντι 0.05 V vs Li αντίστοιχα. Οι δύο διαφορές μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα την χαμηλότερη ειδική ενέργεια, παρ' όλα αυτά το ενδιαφέρον παραμένει για το  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  διότι έχει ειδικές ιδιότητες οι οποίες περιλαμβάνουν χαμηλή μεταβολή του όγκου χωρητικότητας (<1%) κατά την διάρκεια φόρτισης/αποφόρτισης, έχουν ικανότητα φόρτισης/αποφόρτισης σε υψηλό ποσοστό χωρητικότητας και χαμηλή θερμοκρασία, καθώς και υψηλή θερμική σταθερότητα και στην φόρτιση και στην αποφόρτιση. Επίσης έχουν χαμηλό κόστος και έχουν χαμηλή τοξικότητα. Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε συνοπτικά κάποια χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται για το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας. [12]

Υλικό	Χωρητικότητα	Χρήσεις	Χαρακτηριστικά
Γραφίτης	373 mAh/g	Το κυρίαρχο αρνητικό ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου	Χαμηλό κόστος και καλή ενεργειακή πυκνότητα
$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	170 mAh/g	Αυτοκίνητα, ηλεκτρικό δίκτυο	Απόδοση, χρόνος φόρτισης, αντοχή, (ασφάλεια, με θερμοκρασία λειτουργίας $-50^\circ\text{C}$ έως $70^\circ\text{C}$ ή $(-58^\circ\text{F}$ έως $158^\circ\text{F})$ )

**Σχήμα 4.7:** Χαρακτηριστικά υλικών που χρησιμοποιούνται για το αρνητικό ηλεκτρόδιο [18]

#### 4.3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ

Ένας ηλεκτρολύτης είναι ένα μέσο το οποίο καθορίζει την κίνηση των ιόντων και συνήθως αποτελείται από διαλύτη και άλας. Λιωμένοι ηλεκτρολύτες είναι επίσης πιθανόν να χρησιμοποιούνται. Οι υγροί ηλεκτρολύτες αποτελούνται από οργανικούς διαλύτες και οι στέρεοι ηλεκτρολύτες αποτελούνται από ανόργανες ενώσεις ή πολυμερή, ενώ οι πολυμερές ηλεκτρολύτες προετοιμάζονται από πολυμερή και άλατα.

Ο ηλεκτρολύτης μετακινεί ιόντα λιθίου από την άνοδο προς την κάθοδο κατά την διάρκεια της φόρτισης, ενώ κατά την αποφόρτιση τα ιόντα λιθίου κινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο. Η τάση εργασίας και η πυκνότητα ενέργειας στις δευτεροβάθμιες μπαταρίες λιθίου καθορίζεται από τα υλικά ανόδου και καθόδου. Η επιλογή του ηλεκτρολύτη είναι επίσης σημαντική από τότε που η υψηλή ιοντική αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι απαραίτητη για τις μπαταρίες για υψηλή απόδοση.

Υγροί ηλεκτρολύτες με άλας λιθίου που διαλύεται σε οργανικό διαλύτη έχουν χρησιμοποιηθεί από το 1970 όταν οι πρωτοβάθμιες μπαταρίες λιθίου είχαν πρωτοεμφανιστεί. Οι περισσότερες δευτεροβάθμιες μπαταρίες χρησιμοποιούν οργανικούς ηλεκτρολύτες. Ηλεκτρολύτες υγρών ιόντων αποτελούνται από λιωμένα άλατα με σημείο τήξης κάτω από την θερμοκρασία δωματίου και χρησιμοποιούνται με άλατα λιθίου. Λόγω της απουσίας εύφλεκτου οργανικού διαλύτη, είναι γνωστό ότι χρησιμοποιώντας αυτούς του ηλεκτρολύτες έχουμε ασφαλέστερες μπαταρίες. Οι στέρεοι πολυμερές ηλεκτρολύτες κατασκευάζονται με την διάλυση αλάτων σε πολυμερή υψηλής πολικότητας και δεν προτείνονται για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου καθώς παρουσιάζουν χαμηλή αγωγιμότητα. Οι πολυμερείς gel ηλεκτρολύτες αποτελούνται από μια μήτρα πολυμερούς και υγρό ηλεκτρολύτη και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά παρόμοια με τους υγρούς και τους πολυμερές ηλεκτρολύτες. Οι



μπαταρίες ιόντων λιθίου με gel πολυμερή ηλεκτρολύτη ονομάζονται μπαταρίες πολυμερούς ιόντων λιθίου. Συνοψίζοντας, βλέπουμε ότι υπάρχουνε τέσσερα είδη ηλεκτρολυτών πάνω στους οποίους θα γίνει παρακάτω μια αναφορά σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του καθενός. Οι τέσσερεις τύποι ηλεκτρολυτών είναι οι εξής :

- Υγρός ηλεκτρολύτης
- Ηλεκτρολύτες υγρών ιόντων
- Στέρεοι πολυμερείς ηλεκτρολύτες
- Gel πολυμερείς ηλεκτρολύτες

### Υγροί ηλεκτρολύτες

Οι υγροί ηλεκτρολύτες για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούνται από άλατα διαλυμένα σε οργανικούς διαλύτες. Υπάρχουνε πολλοί τύποι οργανικών διαλυτών και υγρών αλάτων, αλλά δεν είναι όλοι κατάλληλοι για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Για να χρησιμοποιηθούν οι υγροί ηλεκτρολύτες σε μια μπαταρία θα πρέπει να έχουνε κάποια χαρακτηριστικά:

1. Ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να έχει υψηλή ιοντική αγωγιμότητα. Η κίνηση των ιόντων λιθίου στα ηλεκτρόδια και διάχυσή τους στον ηλεκτρολύτη είναι πολύ σημαντική όταν οι δευτεροβάθμιες μπαταρίες έχουν γρήγορη φόρτιση/αποφόρτιση. Σε θερμοκρασία δωματίου, οι υγροί ηλεκτρολύτες παρουσιάζουνε ιοντική αγωγιμότητα υψηλότερη από  $10^{-3}$  S/cm.
2. Ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να παρουσιάζει υψηλή χημική και ηλεκτροχημική σταθερότητα προς τα ηλεκτρόδια. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου συμμετέχουν σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στη κάθοδο και την άνοδο, ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να είναι ηλεκτροχημικά σταθερός από τις αντιδράσεις των δύο ηλεκτροδίων. Επίσης θα πρέπει να είναι χημικά σταθερός προς διάφορα μέταλλα και πολυμερή που αποτελούν την άνοδο, την κάθοδο, και την μπαταρία.
3. Ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε μια ευρεία περιοχή θερμοκρασίας. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου με υγρούς ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε κινητές συσκευές, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της θερμοκρασίας που κυμαίνεται από -20 έως 60°C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η ηλεκτροχημική σταθερότητα μειώνεται και, ενώ η ιοντική αγωγιμότητα αυξάνεται.
4. Ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να είναι υψηλής ασφάλειας. Οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται στους συγκεκριμένους ηλεκτρολύτες είναι εύφλεκτοι και μπορούν να προκαλέσουν φωτιά ή ακόμα και έκρηξη όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να είναι χαμηλής τοξικότητας.
5. Τέλος, ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους.

### Ηλεκτρολύτες υγρών ιόντων

Ένα υγρό ιόντων αναφέρεται σε ένα άλας το οποίο έχει υγρή μορφή. Συγκεκριμένα εκείνα που βρίσκονται σε υγρή μορφή σε θερμοκρασία δωματίου ονομάζονται υγρά ιόντων θερμοκρασίας δωματίου ( RTILs). Με την ανακάλυψη ότι οι ενώσεις του πυριδινίου ή ιμιδαζολίου και χλωριούχου αλουμινίου, κυριαρχούν στα υγρά ιόντων, τα υγρά ιόντων άρχισαν να μελετούνται το 1950. Συγκρίνοντας τους υγρούς ηλεκτρολύτες με τους ηλεκτρολύτες υγρών ιόντων έχουνε κάποια πλεονεκτήματα:

1. Υπάρχουν σε υγρή μορφή σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και έχουν χαμηλή πίεση ατμών
2. Είναι θερμικά ανθεκτικά και εύφλεκτα
3. Είναι χημικά σταθερά
4. Έχουν σχετικά μια υψηλή πολικότητα και ιοντική αγωγιμότητα

Παρόλα αυτά, εμφανίζουν κακή απόδοση της μπαταρίας, καθώς ιοντικοί δεσμοί οδηγούν σε χαμηλό ιξώδες ενώ η διάχυση λιθίου παρεμποδίζεται από την παρουσία άλλων κατιόντων.

### Στέρεοι πολυμερείς ηλεκτρολύτες

Οι συγκεκριμένοι ηλεκτρολύτες αποτελούνται από ένα πολυμερή και άλας. Οι στέρεοι πολυμερείς ηλεκτρολύτες έχουν μελετηθεί από τον Wright's ο οποίος αναφέρει ότι τα ιόντα μπορούν να μεταφερθούν μέσα από πολυμερή και ο Armand υποστήριξε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτροχημικές συσκευές συμπεριλαμβανομένου και της μπαταρίας. Τα πλεονεκτήματα όλων των στερεών μπαταριών με στέρεο πολυμερή ηλεκτρολύτη είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας της μπαταρίας με μεταλλικό λίθιο για άνοδο
- Εξαιρετικά αξιόπιστο και δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής
- Μπορεί να κατασκευαστεί σε διάφορα σχέδια
- Πιθανότητα να κατασκευαστεί μπαταρία η οποία θα είναι εξαιρετικά λεπτή
- Δεν απελευθερώνει εύφλεκτα αέρια σε υψηλές θερμοκρασίες
- Έχει χαμηλό κόστος καθώς δεν απαιτείται διαχωριστής ή προστασία κυκλώματος

Παρόλα αυτά, παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο είναι η χαμηλή ιοντική του αγωγιμότητα σε θερμοκρασία δωματίου η οποία είναι περίπου  $10^{-4}$  S/cm. Ωστόσο, με την πρόσθεση ανόργανων σωματιδίων όπως, οξειδίο του αλουμινίου ( $Al_2O_3$ ), διοξειδίο του πυριτίου ( $SiO_2$ ), και διοξειδίο το τιτανίου ( $TiO_2$ ), τα χαρακτηριστικά όπως η ιοντική αγωγιμότητα, η μηχανική αντοχή και η επιφάνεια ηλεκτροδίου / ηλεκτρολύτη μπορούν να ενισχυθούν στους στέρεους πολυμερείς ηλεκτρολύτες. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ανόργανα υλικά εμποδίζουν την κρυστάλλωση του πολυμερούς και η περιττή υγρασία απορροφάται στην επιφάνεια των ανόργανων σωματιδίων. Συγκρίνοντας με τους υγρούς, οι στέρεοι πολυμερείς ηλεκτρολύτες έχουν χαμηλή ιοντική αγωγιμότητα, όχι καλή μηχανική αντοχή, και κακά διεπιφανειακά χαρακτηριστικά. Έτσι η χρήση τους περιορίζεται σε δευτεροβάθμιες μπαταρίες για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες στα ηλεκτρικά οχήματα και συσκευές μέσω αποθήκευσης.

## Gel πολυμερής ηλεκτρολύτης

Αποτελούνται από πολυμερή, οργανικούς διαλύτες, και άλατα λιθίου, οι gel πολυμερείς ηλεκτρολύτες παράγονται από την ανάμειξη οργανικών ηλεκτρολυτών με στέρεες μήτρες πολυμερούς. Παρά την ύπαρξη μιας ταινίας σε στερεή μορφή, οι gel πολυμερείς ηλεκτρολύτες παρουσιάζουν αρκετά καλή ιοντική αγωγιμότητα η οποία είναι  $\sim 10^{-3}$  S/cm κοντά σε αυτή του υγρού ηλεκτρολύτη. Ο gel πολυμερής ηλεκτρολύτης ουσιαστικά έχει τα πλεονεκτήματα των υγρών ηλεκτρολυτών και των στερεών πολυμερών ηλεκτρολυτών, έτσι η χρήση τους στις μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν μελετηθεί.

Μεταξύ του gel πολυμερή ηλεκτρολύτη, τα ιόντα μεταφέρονται σε ένα υγρό μέσο ενώ η πολυμερής μήτρα διατηρεί την μηχανική αντοχή της ταινίας και την αποθήκευση υγρών. Ανάλογα με την ποσότητα του υγρού ηλεκτρολύτη, οι gel πολυμερείς ηλεκτρολύτες παρουσιάζουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Όπως προηγουμένως αναφέρθηκε, η ιοντική αγωγιμότητα του gel πολυμερή ηλεκτρολύτη είναι κοντά σε αυτή του υγρού ηλεκτρολύτη.

Πρόσφατα, έχουν γίνει αρκετές έρευνες για την δημιουργία ενός νέου τύπου ηλεκτρολύτη ο οποίος ονομάζεται “*ionogel*” και αποτελείται από υγρά ιόντων και πολυμερή. Ο συγκεκριμένος ηλεκτρολύτης έχει αρκετά πλεονεκτήματα ο οποίος έχει βοηθήσει στην βελτίωση της μπαταρίας ιόντων λιθίου, παρουσιάζει όμως και κάποια μειονεκτήματα τα οποία θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο. [19]

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

### ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΕ GEL ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υγρά ιόντων αναφέρονται σαν “πράσινοι” διαλύτες λόγω της σταθερότητάς τους στον αέρα και το νερό, την αμελητέα πίεση ατμών, καθώς και ότι δεν είναι εύφλεκτα. Πιο πρόσφατα, λόγω της υψηλής ιοντικής αγωγιμότητας και το ευρύ ηλεκτροχημικό δυναμικό, τα υγρά ιόντα έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον σε ηλεκτροχημικές συσκευές, όπως τις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion batteries), την βαφή ευαισθητοποιημένων ηλιακών κελιών (dye-sensitized solar cells), και κελιά καυσίμων (fuel cells). Ηλεκτροχημικές συσκευές με υγρούς ηλεκτρολύτες έχουν προβλήματα με την αντοχή εξαιτίας της διαρροής των υγρών. Αντικαθιστώντας τους υγρούς ηλεκτρολύτες με ένα στέρεο ηλεκτρολύτη θα βελτίωνε την ασφάλεια της μπαταρίας. Η αναζήτηση για έναν ιδανικό ηλεκτρολύτη στερεάς κατάστασης σε ηλεκτροχημικές συσκευές είναι ένα σημαντικό θέμα για την επιστήμη των υλικών. Ο περιορισμός υγρών ιόντων μεταξύ οργανικής και ανόργανης μήτρας καθιστά δυνατή την διατήρηση των ιδιοτήτων τους σε στέρεα μορφή, αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα που σχετίζονται με τον κίνδυνο διαρροής. Ωστόσο ακινητοποιημένα υγρά ιόντων σε μία οργανική μήτρα μεμβράνης που χρησιμοποιείται σαν πολυμερής ηλεκτρολύτης παρουσιάζει κακή μηχανική απόδοση, και η θερμική σταθερότητα περιορίζεται από την οργανική φύση του πολυμερούς.

Ο Feng *et al*, σύμφωνα με μία δημοσίευση [20], μας παρουσιάζουν μια νέα εναλλακτική λύση για την ακινητοποίηση των υγρών ιόντων μεταξύ μίας θερμικά σταθερής ανόργανης μήτρας που ονομάζεται “ionogels” ή αλλιώς gel ιόντων. Τα gel ιόντων είναι μια κατηγορία στερεής μορφής ηλεκτρολύτης που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των ανόργανων οξειδίων και των υγρών ιόντων. Άλατα λιθίου διαλύονται σε ένα ιοντικό υγρό και λειτουργεί σαν ιοντική αγωγή φάση, ενώ οι στερεές μήτρες ανόργανου οξειδίου εμποδίζουν την επαφή των ηλεκτροδίων αποτρέποντας έτσι τα βραχυκυκλώματα. Έτσι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούν το gel ιόντων σαν ηλεκτρολύτη παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία θα δούμε παρακάτω. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι για την στερεοποίηση των υγρών ιόντων χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια όπως το διοξείδιο του πυριτίου και του τιτανίου. Ο Itaru Honma προετοίμασε ημί- στέρεας μορφής (quasi-solid-state) ηλεκτρολύτες προσθέτοντας πυρίτιο στα υγρά ιόντων. Όλα της στερεής μορφής κελιά με αυτό τον ηλεκτρολύτη παρουσιάζουν σταθερούς κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης όταν περιέχουν 75% υγρά ιόντων. Ο Jae-Kwang Kim έχει ερευνήσει τις μπαταρίες ιόντων λιθίου που περιέχουν ηλεκτρολύτη υγρών ιόντων διασκορπισμένο σε νανοσωματίδια οξειδίου του τιτανίου ( $TiO_2$ ). Ωστόσο, αυτό το υλικό δεν παραμένει στη στερεή μορφή όταν το ποσοστό του ιοντικού υγρού είναι >53% wt%. Η αναλογία των υγρών ιόντων στους gel ηλεκτρολύτες παίζει σημαντικό ρόλο στην αγωγιμότητα των ιόντων. Ως εκ τούτου, το κλειδί για να επιτύχουμε υψηλή ιοντική αγωγιμότητα, είναι η αύξηση του ποσοστού των υγρών ιόντων. Έτσι, υπάρχει μεγάλη ανάγκη να βρεθεί μια μέθοδος σύνθεσης για να αυξηθεί το περιεχόμενο του ιοντικού υγρού.

Με την μέθοδο sol-gel επιτυγχάνεται ο σχηματισμός πηκτώματος σε συνδυασμό ενός ιοντικού υγρού με το ανόργανο  $\text{TiO}_2$  πηκτώμα, στο οποίο νανοπορώδεις ανόργανο δίκτυο πηκτωμάτων διαμορφώνεται ταυτόχρονα με τον περιορισμό του ιοντικού υγρού σε ένα βήμα. Έτσι με την μη υδατική sol-gel διαδικασία προετοιμάζεται το ionogel. Αυτός ο ηλεκτρολύτης παρουσιάζει ιοντική αγωγιμότητα σε θερμοκρασία δωματίου ίδια με αυτή που προσφέρεται από τους οργανικούς υγρούς ηλεκτρολύτες και τα ιοντικά υγρά, δηλαδή  $1 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ . Παρακάτω θα δούμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζει η χρήση του ionogel σαν ηλεκτρολύτη στις μπαταρίες ιόντων λιθίου.

## 5.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου οι οποίες χρησιμοποιούν σαν ηλεκτρολύτη τον ionogel παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους τύπους ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιούνται στις Li-ion μπαταρίες. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι, τα υγρά ιόντων με το άλας λιθίου λειτουργεί σαν ιοντική αγωγή στους πόρους, οι οποίοι δημιουργούνται αυτό-συναρμολόγηση των άμορφων  $\text{TiO}_2$  σε ήπιες συνθήκες. Τα αυτο-συναρμολογούμενα κανάλια που μεταφέρουν ιόντα οδηγούν στην υψηλή ιοντική αγωγιμότητα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι, ένα ανόργανο το τείχος πόρων με επαρκή μηχανική και δομική αντοχή σχηματίζει ένα ισχυρό και αποτελεσματικό διαχωριστή μεταξύ των ηλεκτροδίων, με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ένα πιθανό βραχυκύκλωμα. Επιπλέον, το ionogel είναι σε θέση να αντέξει σε περισσότερο σε σχέση με την αποθήκευση και την χρησιμοποίησή του. Επίσης, με την χρήση αυτού του ηλεκτρολύτη αποφεύγεται η πιθανή διαρροή υγρών, και ο κίνδυνος κάποιας έκρηξης ή εκδήλωση φωτιάς, καθώς χρησιμοποιούνται ιοντικά υγρά που είναι μη εύφλεκτα και ανόργανα υλικά. Συνεπώς, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου με την χρήση του ionogel μας εξασφαλίζει μία ασφαλέστερη μπαταρία σε σχέση με τις μπαταρίες που χρησιμοποιούσαν υγρούς ηλεκτρολύτες. Διατηρούν σαφώς κάποια προτερήματα όπως χρησιμοποιούνταν και στις μπαταρίες με τους υγρούς ηλεκτρολύτες όπως, το σχήμα τους το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί σε μία ευρεία ποικιλία μορφών και μεγεθών, και παραμένουν σταθερές από τις υπόλοιπες δευτεροβάθμιες μπαταρίες. Η μπαταρία ιόντων λιθίου παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως, η γήρανση καθώς και το κύκλωμα προστασίας που όπως θα δούμε ότι είναι απαραίτητο για την σωστή λειτουργία της μπαταρίας. Παρακάτω θα δούμε αυτά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και θα γίνει μία μικρή ανάλυση για το καθένα.

### Πλεονεκτήματα μπαταριών Li-ion

Όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Όπως αναφέραμε υπάρχουνε διάφοροι τύποι μπαταριών Li-ion σε σχέση με τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Η μπαταρία Li-ion με gel ηλεκτρολύτη παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους άλλους τύπους ηλεκτρολυτών. Παρακάτω θα δούμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν γενικά οι μπαταρίες Li-ion με gel ηλεκτρολύτη.

- ∅ **Ασφάλεια:** Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μπαταρία Li-ion με gel ηλεκτρολύτη, είναι η ασφάλεια της μπαταρίας σε σχέση με τις μπαταρίες που χρησιμοποιούσαν υγρούς ηλεκτρολύτες, διότι με την χρήση gel ηλεκτρολύτη αποφεύγεται η πιθανότητα διαρροής υγρών, συνεπώς αποφεύγεται η έκρηξη της μπαταρίας ή η εκδήλωση φωτιάς.
- ∅ **Ιοντική αγωγιμότητα:** Με την χρήση gel ηλεκτρολύτη είναι πολύ καλή και βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτή των υγρών ηλεκτρολυτών, δηλαδή  $10^{-3}$  S/cm.
- ∅ **Φαινόμενο μνήμης:** Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να φορτίζουμε και αποφορτίζουμε την μπαταρία πολλές φορές χωρίς να μειώνεται η χωρητικότητα της. Ακόμη, δεν απαιτείται κάθε φορά πλήρης αποφόρτιση και μετά φόρτιση όπως σε άλλους τύπους μπαταριών. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης
- ∅ **Σχήμα:** Οι μπαταρίες Li-ion μπορούν να διαμορφωθούν σε μια ευρεία ποικιλία μορφών και μεγεθών, ώστε να ικανοποιούν την πολυμορφία του διαθέσιμου χώρου των συσκευών που τροφοδοτούν.
- ∅ **Υψηλή πυκνότητα ενέργειας:** Η αρκετά υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας είναι ένα από τα κύρια προτερήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου. Οι σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούν μεγάλη διάρκεια λειτουργίας μεταξύ των φορτίσεων, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η απαίτηση σε κατανάλωση ισχύος. Επομένως, υπάρχει πάντοτε η ανάγκη να υφίστανται μπαταρίες με μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα.
- ∅ **Κόστος:** Με την χρήση αυτού του ionogel σαν ηλεκτρολύτη το κόστος της μπαταρίας μπορεί να μειωθεί καθώς το διοξείδιο του τιτανίου δεν είναι ακριβό υλικό.

### Μειονεκτήματα μπαταριών Li-ion

Ακόμα και εάν οι μπαταρίες Li-ion με gel ηλεκτρολύτη έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, διατηρούν ακόμα κάποια μειονεκτήματα.

- ∅ **Γήρανση:** Η γήρανση είναι χρονική, αλλά επίσης εξαρτάται και από τον αριθμό των κύκλων φορτίσεων-αποφορτίσεων στους οποίους υφίσταται η μπαταρία. Όταν μια μπαταρία χρειάζεται να αποθηκευτεί κάπου, πρέπει να φορτιστεί μερικώς πριν την αποθήκευση, τυπικά στο 40% με 50% του πλήρους φορτίου της, και να τοποθετηθεί σε δροσερό μέρος. Όταν η αποθήκευση γίνεται υπό αυτές τις συνθήκες, η μπαταρία προστατεύεται από παράγοντες που επιφέρουν την γήρανσή της.
- ∅ **Κύκλωμα προστασίας:** Οι κυψέλες ιόντων λιθίου και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν είναι τόσο στιβαρές όσο άλλες επαναφορτιζόμενες τεχνολογίες. Απαιτείται η ύπαρξη κυκλώματος προστασίας για να μην υπέρ-φορτιστούν ή να μην αποφορτιστούν σε μεγάλο βαθμό. Επιπρόσθετα απαιτείται να ελέγχεται το ρεύμα της μπαταρίας ώστε να παραμένει εντός των ασφαλών ορίων. Επομένως πρέπει να υφίσταται κύκλωμα προστασίας της μπαταρίας για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας. Θετικό γεγονός αποτελεί ότι η

τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μπορεί να φτιάξει τα κατάλληλα κυκλώματα προστασίας σε μικρή κλίμακα και μικρό κόστος.

Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι, η μπαταρία Li-ion με gel ηλεκτρολύτη παρουσιάζει κάποια καινούρια πλεονεκτήματα, αλλά βλέπουμε ότι διατηρεί και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με τους άλλους τύπους ηλεκτρολυτών.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

---

### ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΜΕ GEL ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουνε μεγάλη χρήση σε κινητά τηλέφωνα, ψηφιακές κάμερες και laptops, συνεπώς είναι αυτονόητο ότι σε ορισμένες θα υπάρξουν θέματα σε σχέση με την ασφάλειά τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανάκληση 200.000 μπαταριών σε ένα πακέτο έξι εκατομμυρίων μπαταριών ιόντων λιθίου, που χρησιμοποιούνται σε φορητούς υπολογιστές που κατασκευάστηκαν από την Dell και την Apple.

Τα κελιά ιόντων λιθίου με καθόδους όπως το κοβάλτιο, δεν πρέπει ποτέ να ξεπεράσουν την θερμοκρασία των 130 °C (265 °F). Στους 150 °C (302 °F) το κελί γίνεται θερμικά ασταθές, και μπορεί να οδηγηθεί σε μία κατάσταση ανεξέλεγκτης φωτιάς, στην οποία φλεγόμενα αέρια εξαερώνονται.

Κατά την διάρκεια της ανεξέλεγκτης φωτιάς, η υψηλή θερμότητα που υπάρχει στο κελί που αναπτύχθηκε, μπορεί να διαδοθεί και στο επόμενο κελί, με αποτέλεσμα να γίνει και αυτό θερμικά ασταθές. Ένα πακέτο μπορεί να καταστραφεί σε μόλις λίγα δευτερόλεπτα ή μπορεί να αργήσει και να διαρκέσει κάποιες ώρες.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι από τα πιο γνωστά μέσα αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται πλέον σε φορητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, laptops κ.ά. Για τον λόγο αυτό οι μπαταρίες απαιτούν σταθερότητα και λειτουργικότητα κάτω από ακραίες συνθήκες, όπως υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς είναι επιτακτική η ανάγκη για να κατασκευαστεί μία μπαταρία η οποία θα είναι ασφαλής. Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα που είχανε οι μπαταρίες που χρησιμοποιούσαν υγρό ηλεκτρολύτη ήταν ότι σε υψηλές θερμοκρασίες ήταν αρκετά επικίνδυνο με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος πυρκαγιάς ή και έκρηξης της μπαταρίας.

Ο gel ηλεκτρολύτης συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της μήτρας ανόργανου οξειδίου (μηχανική σταθερότητα, χαμηλή ευφλεκτότητα, και οπτική διαφάνεια) και των ιοντικών υγρών (υψηλή ιοντική αγωγιμότητα, καθώς και θερμική και ηλεκτροχημική σταθερότητα). Έτσι με την χρήση του gel ηλεκτρολύτη αποφεύγεται αυτός ο κίνδυνος καθώς εμπεριέχονται ιοντικά υγρά και ανόργανα υλικά υποδοχής τα οποία είναι μη εύφλεκτα.

Το διοξείδιο του τιτανίου  $TiO_2$  είναι αυτό που έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον, καθώς πιστεύεται ότι μπορεί να περιορίσει την κίνηση των ιοντικών υγρών, και παρουσιάζει χαμηλή τοξικότητα, καλή θερμική σταθερότητα, έχει υψηλή θερμοκρασία αποσύνθεσης και είναι μη πτητικό.

Η κατασκευή του gel γίνεται με την μέθοδο sol-gel αναμειγνύοντας διοξείδιο του τιτανίου  $TiO_2$  με ένα διάλυμα άλατος Li σε ιοντικό υγρό. Συνεπώς σε μία υπερφόρτιση και μία απότομη αύξηση της θερμοκρασίας ο κίνδυνος για μια έκρηξη ή πυρκαγιά της μπαταρίας αποφεύγεται με την χρήση gel για ηλεκτρολύτη. [21, 22, 23]



Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε μπαταρίες οι οποίες έχουν καταστραφεί πάνω σε συσκευές και όπως θα διαπιστώσουμε από τις εικόνες, αυτές όταν εκρήγνυνται μπορούν να γίνουν εξαιρετικά επικίνδυνες για την σωματική μας υγεία.



**Σχήμα 6.1**



**Σχήμα 6.2**



**Σχήμα 6.3**

Στο ***Σχήμα 6.1*** βλέπουμε της έκρηξη που έχει υποστεί η μπαταρία κατά την διάρκεια φόρτισής της στο αυτοκίνητο, και στο ***Σχήμα 6.2*** βλέπουμε τις συνέπειες αυτής της έκρηξης, καθώς έχει προκαλέσει ζημιές στο αυτοκίνητο. Ενώ στο ***Σχήμα 6.3*** βλέπουμε την καταστροφή μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου σε έναν φορητό υπολογιστή.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

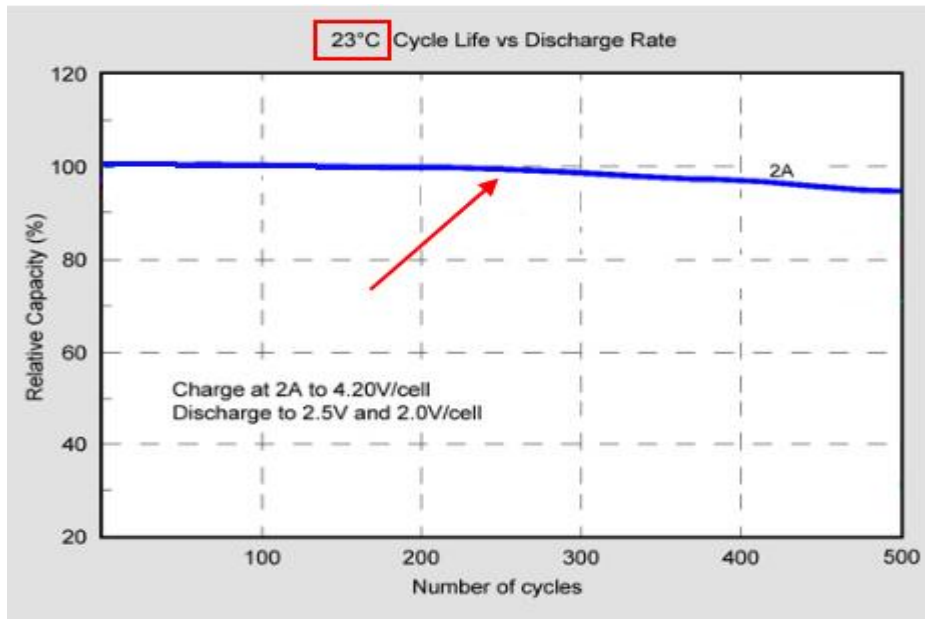
---

### ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΜΕ GEL ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Σε μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία η διάρκεια ζωής της συνήθως ορίζεται ως ο αριθμός των πλήρων κύκλων φορτίσεων-αποφορτίσεων πριν από την σημαντική απώλεια ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας. Οι κατασκευαστές μας καθορίζουν την διάρκεια ζωής, από την άποψη των κύκλων (π.χ., η ικανότητα αποθήκευσης πέφτει περίπου στο 80% για πάνω από 500 κύκλους) χωρίς να υπάρχει κάποια χρονολογική αναφορά. Κατά μέσο όρο η διάρκεια ζωής αποτελείται από 1000 κύκλους, αν και σπάνια διευκρινίζεται η απόδοση της μπαταρίας για περισσότερους από 500 κύκλους. Αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες κινητών τηλεφώνων ή άλλων φορητών συσκευών, δεν αναμένεται να διαρκέσουν περισσότερο από τρία χρόνια. Ορισμένες μπαταρίες που χρησιμοποιούν σαν άνοδο τον άνθρακα προσφέρουν περισσότερους από 10.000 κύκλους.

Μία μπαταρία που αυτό-αποφορτίζεται, η τάση της μειώνεται σταδιακά. Όταν εξαντληθεί και η τάση πέσει κάτω από το όριο χαμηλής τάσης του κυκλώματος προστασίας (2.4 V – 2.9V/ ανά κελί, ανάλογα με την χημεία), το κύκλωμα αποσυνδέεται και σταματά η αποφόρτιση μέχρι να επαναφορτιστεί.

Η μπαταρία ιόντων λιθίου κατά τη διάρκεια της ζωής της μετακινεί θετικά και αρνητικά ηλεκτροδίων. Αυτός ο μηχανισμός θα πρέπει να λειτουργεί για πάντα σε μια μπαταρία Li-ion, αλλά η αυξημένη θερμοκρασία, ο κύκλος φόρτισης/αποφόρτισης και η γήρανση μειώνουν την απόδοση της μπαταρίας σε βάθος χρόνου. Αυτό που καθορίζει ουσιαστικά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι η χωρητικότητα, η οποία μετράει την απόδοση της μπαταρίας και είναι και μία σημαντική πληροφορία για την κατάσταση της υγείας της μπαταρίας. Η εσωτερική αντίσταση και η αυτό-αποφόρτιση παίζουν επίσης ρόλο στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αλλά είναι λιγότερα σημαντικά από την χωρητικότητα. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου όπως θα δούμε και στο *σχήμα 7.1*, διατηρούν τη μέγιστη χωρητικότητά τους συνήθως μέχρι τους πρώτους 250 κύκλους φόρτισης, ενώ μετά αρχίζει και πέφτει σιγά σιγά η απόδοσή της.



**Σχήμα 7.1:** Απεικόνιση της χωρητικότητας κατά την διάρκεια των κύκλων φορτίσεων

Βέβαια η απόδοση αλλά και διάρκεια της ζωής της από άλλους παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία. Οι μπαταρίες λειτουργούν καλύτερα σε θερμοκρασίες δωματίου. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι εάν αποθηκεύσουμε την μπαταρία μας φορτισμένη στο 100% στους 25°C, μέσα σε 3 μήνες θα έχει χάσει το 20% της χωρητικότητά της. Αντίστοιχα εάν αποθηκεύσουμε στους 40°C η χωρητικότητα της μπορεί να πέσει έως και 35%. Επίσης παρατηρούμε ότι εάν την αποθηκεύσουμε φορτισμένη γύρω στο 40% οι απώλειες της μέσα στο χρόνο είναι μικρότερες. Στο πίνακα 7.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα παραπάνω.

Temperature	40% charge	100% charge
0°C	98%	94%
25°C	96%	80%
40°C	85%	65%
60°C	75%	60% (after 3 months)

**Σχήμα 7.2:** Απώλειες χωρητικότητας σύμφωνα με την θερμοκρασία, κατά την αποθήκευση στο 40% και κατά την αποθήκευση στο 100%

Θερμοκρασίες άνω των 30°C θεωρούνται υψηλές για τις μπαταρίες, ενώ η εκτεταμένη χρήση τους σε θερμοκρασίες άνω το 40°C για μεγάλα χρονικά διαστήματα μπορεί να είναι καταστροφικές για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη ζωή της μπαταρίας είναι και τρόπος φόρτισης, ακόμα και οι ίδιοι οι φορτιστές μπορούν να την καταστρέψουν διότι μπορεί

να αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες [24]. Τέλος, υπάρχουν και κάποιες αντιδράσεις που καθορίζουν την διάρκεια ζωής της μπαταρίας όπως:

- Θερμική αποσύνθεση του ηλεκτρολύτη
- Χημική οξειδωση του ηλεκτρολύτη από την κάθοδο
- Θερμική αποσύνθεση από την άνοδο και την κάθοδο
- Εσωτερικό βραχυκύκλωμα με επιπτώσεις στην φόρτιση
- Χημική μείωση του ηλεκτρολύτη από την άνοδο [25].

## 7.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Η ανακύκλωση μπαταριών είναι η διαδικασία ανάκτησης και αξιοποίησης των υλικών που αποτελούν τις μπαταρίες, δηλαδή η απόσπαση των μετάλλων της μπαταρίας και η επαναφορά τους στον φυσικό κι οικονομικό κύκλο, με την επαναχρησιμοποίηση τους για την κατασκευή νέων μπαταριών ή άλλων προϊόντων. Ο σκοπός της ανακύκλωσης είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών, καθώς και η μείωση του όγκου απορριμμάτων.

Η ανακύκλωση των μπαταριών, όπως και των μπαταριών ιόντων λιθίου έχουν μεγάλο όφελος και είναι κοινά για όλους τους τύπους μπαταριών. Σε όλες τις χώρες της Ευρώπης η ανακύκλωση μπαταριών γίνεται για:

- Την προστασία του περιβάλλοντος και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων
- Την μείωση του όγκου των απορριμμάτων τα οποία καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων
- Την εξοικονόμηση πρώτων υλών
- Την εξοικονόμηση ενέργειας
- Την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- Την συνεισφορά στον πολιτισμό, εφόσον η εναλλακτική διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί δείκτη πολιτισμού

Συγκεκριμένα για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, περιέχουν λιγότερα τοξικά μέταλλα από άλλους τύπους μπαταριών που μπορεί να περιέχουν κάδμιο ή αμόλυβδο, και κατηγοριοποιούνται ως μη επικίνδυνα απόβλητα. Οι μπαταρίες Li-ion που περιέχουν σίδηρο, χαλκό, νικέλιο και κοβάλτιο θεωρούνται ασφαλή για τους χώρους υγειονομικής ταφής. Αυτά τα μέταλλα μπορούν να ανακυκλωθούν, αλλά η εξόρυξη παραμένει σε γενικές γραμμές φθηνότερη λύση από την ανακύκλωση. Προς το παρόν δεν έχουν επενδυθεί πολλά πράγματα στην ανακύκλωση μπαταριών Li-ion,

λόγω κόστους, πολυπλοκότητας και χαμηλής απόδοσης. Το πιο ακριβό μέταλλο που υπάρχει σε μία μπαταρία Li-ion είναι το κοβάλτιο. Το φωσφορικό άλας σιδήρου λιθίου, είναι φθηνότερο υλικό, αλλά έχει άλλα μειονεκτήματα. Το λίθιο είναι λίγο πιο ακριβό μέταλλο σε σχέση με τα άλλα μέταλλα, αλλά με την ανακύκλωση μπορεί να αποφύγουμε μία πιθανή έλλειψη αυτού του μετάλλου [26].

Γενικά, η ανακύκλωση των μπαταριών είναι πάρα πολύ σημαντική για το περιβάλλον μας αλλά και για την ίδια μας την υγεία. Για την ανακύκλωση των μπαταριών υπάρχουν ειδικοί κάδοι ανακύκλωσης, όπου βρίσκονται σε δημόσιους χώρους ή και σε καταστήματα, κυρίως ηλεκτρικά καταστήματα.



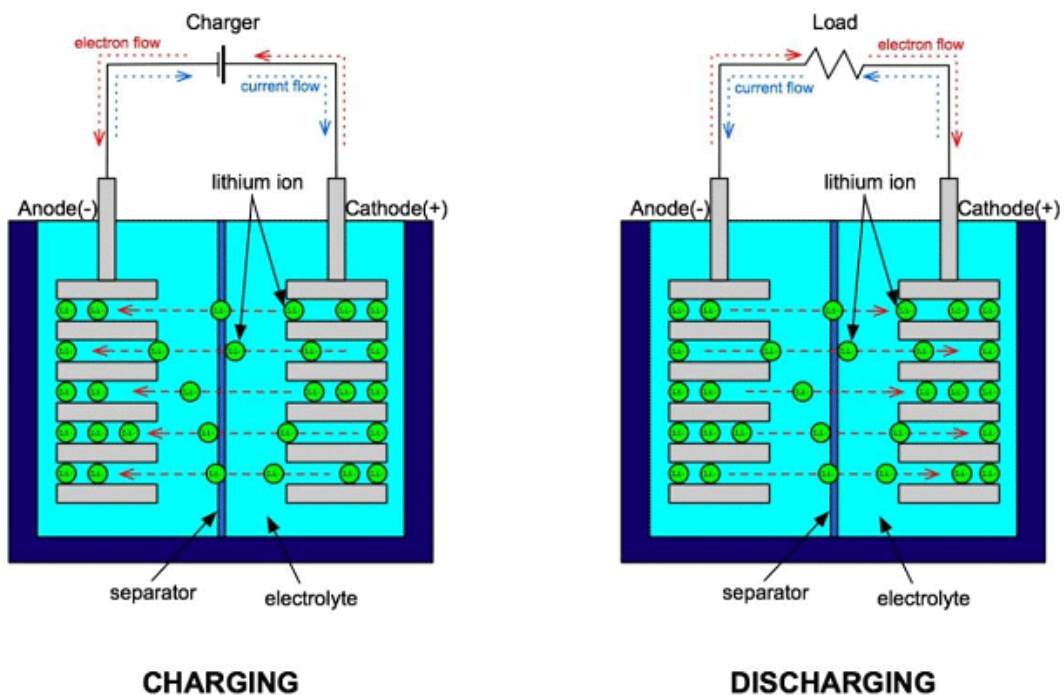
**Σχήμα 7.3:** Κύκλος ζωής μπαταρίας

Στην εικόνα βλέπουμε τον κύκλο ζωής που πρέπει να έχει μία μπαταρία μετά την χρήση. Όπως διακρίνουμε η ανακύκλωση είναι μία πολύ σημαντική κίνηση, καθώς κάποια στιγμή η μπαταρία θα επιστρέψει πάλι στον καταναλωτή, σύμφωνα με την εικόνα. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση που αποφασίσουμε να μην ανακυκλώσουμε την μπαταρία, διακόπτουμε τον κύκλο ζωής της με αποτέλεσμα να χάνουμε πολύτιμες πρώτες ύλες και κατά συνέπεια ενέργεια, ενώ κάποια στοιχεία μπορούν να περάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα με επικίνδυνες επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου. Συνεπώς, όπως πρέπει να γίνεται ανακύκλωση όλων των τύπων μπαταριών, έτσι και η μπαταρία ιόντων λιθίου θα πρέπει να ανακυκλώνεται [27,28].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Κατά την διάρκεια της φόρτισης ή της αποφόρτισης ιόντα λιθίου κινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο. Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της φόρτισης ιόντα λιθίου μετακινούνται από το ηλεκτρόδιο της ανόδου και περνούν μέσα από τον ηλεκτρολύτη και αποθηκεύονται στο ηλεκτρόδιο της καθόδου. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την διάρκεια της αποφόρτισης, δηλαδή ιόντα λιθίου μετακινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο. Παρακάτω στο σχήμα 8.1 απεικονίζεται η διαδικασία της φόρτισης και της αποφόρτισης της μπαταρίας.



**Σχήμα 8.1:** Αριστερά απεικονίζεται η διαδικασία της φόρτισης, όπου ιόντα λιθίου μετακινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο, ενώ στην δεξιά εικόνα απεικονίζεται η διαδικασία της αποφόρτισης, όπου ιόντα λιθίου μετακινούνται από την άνοδο προς την κάθοδο.

Η διαδικασία φόρτισης για την ξεχωριστή φόρτιση του κάθε κελιού σε μία μπαταρία Li-ion, και η πλήρης μπαταρία Li-ion έχουν διαφορετικές διαδικασίες φόρτισης.

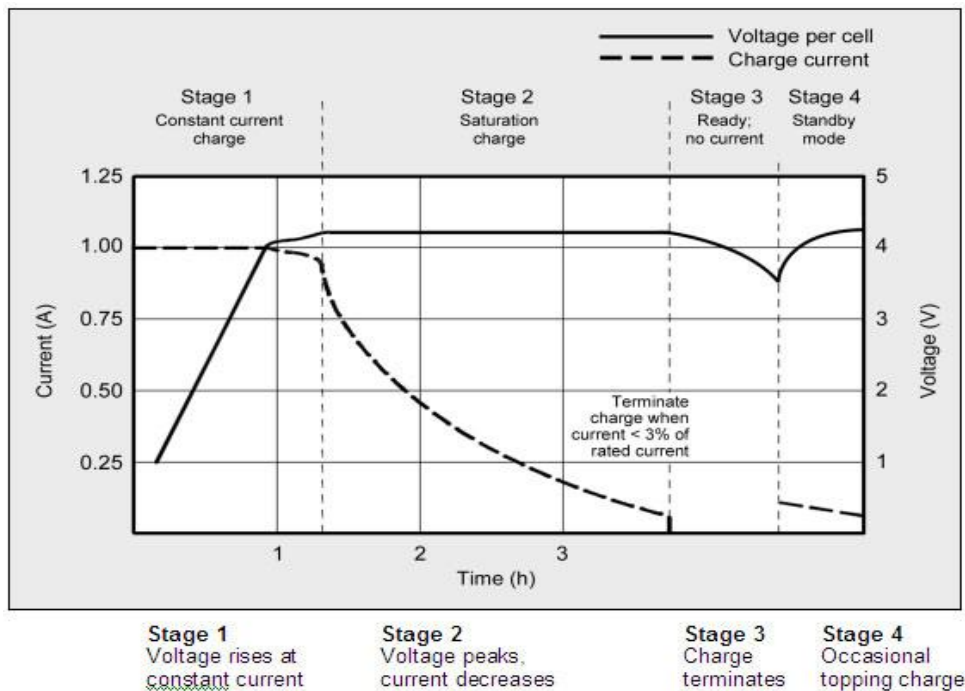
- Για ένα μόνο κελί Li-ion η φόρτιση γίνεται σε δύο στάδια:
  1. Σταθερό ρεύμα (CC)
  2. Πηγή τάσης (CV)
  
- Για μία ολοκληρωμένη μπαταρία Li-ion τα στάδια φόρτισης είναι τρία:
  1. Σταθερό ρεύμα (CC)
  2. Ισορροπία
  3. Πηγή τάσης (CV)

Κατά την διάρκεια που έχουμε σταθερό ρεύμα, ο φορτιστής εφαρμόζει ένα σταθερό ρεύμα προς την μπαταρία σε σταθερή αυξανόμενη τάση, μέχρι να επιτευχθεί το όριο τάσης ανά κελί.

Κατά την διάρκεια που έχουμε ισορροπία, ο φορτιστής μειώνει το ρεύμα φόρτισης, ενώ η κατάσταση φόρτισης των μεμονωμένων κελιών φέρεται στο ίδιο επίπεδο με ένα κύκλωμα εξισορρόπησης, μέχρις ότου η μπαταρία είναι ισορροπημένη. Μερικοί γρήγοροι φορτιστές παραλείπουν αυτό το στάδιο. Μερικοί φορτιστές επιτυγχάνουν την ισορροπία με την φόρτιση κάθε κελιού ξεχωριστά.

Κατά την διάρκεια που έχουμε σταθερή τάση, ο φορτιστής εφαρμόζει μία τάση ίση με την μέγιστη τάση του κάθε κελιού που είναι σε σειρά στην μπαταρία, καθώς το ρεύμα μειώνεται προς το μηδέν, μέχρις ότου το ρεύμα είναι μικρότερο του 3% από το ονομαστικό του ρεύμα. Παρακάτω θα τα δούμε όλα αυτά και σε διάγραμμα.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κάθοδο όπως, κοβάλτιο, μαγγάνιο, νικέλιο και αργίλιο φορτίζονται συνήθως στα 4.20 V/cell με μία απόκλιση +/- 50 mV. Αύξηση της τάσης, αυξάνει την χωρητικότητα, αλλά μειώνει την διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τίθεται θέμα για την ασφάλεια. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 8.2), βλέπουμε την τάση, το ρεύμα καθώς και τον χρόνο κατά την διάρκεια φόρτισης της μπαταρίας. Όπως θα δούμε υπάρχουν 3 στάδια φόρτισης, στο πρώτο στάδιο έχουμε σταθερό ρεύμα και σταδιακή αύξηση της τάσης, στο δεύτερο στάδιο μόλις η τάση φτάσει στην ονομαστική τάση βλέπουμε ότι έχουμε σταδιακή μείωση του ρεύματος ενώ η τάση παραμένει σταθερή. Το δεύτερο στάδιο όπως βλέπουμε ολοκληρώνεται όταν το ρεύμα είναι <3% του ονομαστικού ρεύματος, όπου σε αυτό το σημείο έχουμε και την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Στο τρίτο στάδιο έχει ολοκληρωθεί η φόρτιση της μπαταρίας και δεν έχουμε ρεύμα. Όλα αυτά απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Σχήμα 8.2:** Καμπύλες Τάσης-Ρεύματος και στάδια φόρτισης της μπαταρίας Li-ion

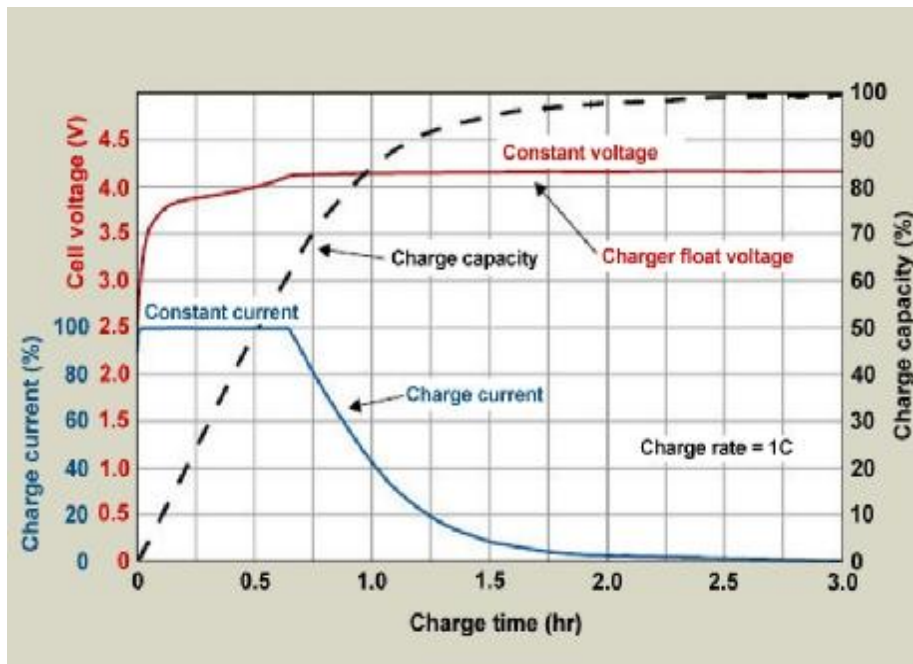
Ο ρυθμός φόρτισης μια ενεργειακής κυψέλης είναι 0.5C και 1C, και συνολική διάρκεια που χρειάζεται μια μπαταρία Li-ion για να φορτιστεί πλήρως είναι περίπου 2-3 ώρες. Η συνιστώμενη φόρτιση είναι στους 0.8C ή λιγότερο ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η μπαταρία Li-ion είναι προτιμότερο να μην φορτίζεται πλήρως, διότι με την πλήρη φόρτιση αναπτύσσονται υψηλά δυναμικά με αποτέλεσμα την καταπόνηση της μπαταρίας.

Μελέτες έχουν δείξει ότι μια μπαταρία Li-ion που αποφορτίζεται πλήρως πριν επαναφορτιστεί χρειάζεται 300-500 κύκλους φόρτισης για να πέσει στο 70% της αρχικής χωρητικότητας.

Αντίθετα η ίδια μπαταρία, εάν επαναφορτιστεί όταν βρίσκεται στο 50%, χρειάζεται 1200-1500 κύκλους για να πέσει στο 70%. Συνεπώς, για να διατηρήσουμε μια μπαταρία ιόντων λιθίου στα καλύτερα δυνατά επίπεδα, θα πρέπει να πραγματοποιούμε συχνές φορτίσεις, ιδανικά από 40% μέχρι 80%.

Οι περισσότερες μπαταρίες Li-ion χρησιμοποιούν γρήγορη φόρτιση μέχρι το 80% και από το 80% έως το 100% κάνει μία πιο συντηρητική φόρτιση. Η διάρκεια για να φορτιστεί μία μπαταρία μέχρι το 80% είναι περίπου 1 ώρα, και άλλες 2 ώρες για να γίνει πλήρης φόρτιση. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται όσα αναφέραμε παραπάνω [29, 30].





**Σχήμα 8.3:** Τάση/Χωρητικότητα συναρτήσει του χρόνου κατά την φόρτιση της μπαταρίας Li-ion [30].

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

---

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Η μπαταρία ιόντων λιθίου χάρις τις ιδιότητες που διαθέτει, έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές συσκευές όπως θα δούμε παρακάτω:

- **Φορητές συσκευές**

Οι φορητές συσκευές όπως laptop, κινητά τηλέφωνα, smartphones, tablets, είναι ένα μέρος της ζωής καθώς όλοι έχουμε από μία τέτοια συσκευή και την χρησιμοποιούμε. Η χρήση τους απαιτεί και μία καλή μπαταρία ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτές τις εφαρμογές. Η μπαταρία ιόντων λιθίου είναι αυτή που κυριαρχεί σε αυτές τις συσκευές καθώς μπορεί να προσφέρει πολλούς κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης σε σχέση με άλλες τύπου μπαταρίες, είναι ελαφριά, και διαθέτει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Πέρα από αυτές τις φορητές συσκευές, η μπαταρία ιόντων λιθίου χρησιμοποιείται σε ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, βιντεοκάμερες, σε φορητές κονσόλες παιχνιδιών, σε ηλεκτρονικά τσιγάρα καθώς και σε φακούς. [31]



**Σχήμα 9.1:** Στην αριστερή εικόνα απεικονίζεται μια μπαταρία Li-ion για laptop Lenovo η οποία έχει χωρητικότητα 2200 mAh και τάση 14.8 V, ενώ στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται μια μπαταρία Li-ion για κινητά τηλέφωνα της LG η οποία προσφέρει χωρητικότητα 900 mAh και τάση 3.7 V

- **Μπαταρίες Li-ion σε EVs και HEVs**

Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και υψηλότερη πυκνότητα ισχύος από τους άλλους τύπους μπαταριών. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν την μπαταρία για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία επαναφορτίζεται από τη σύνδεση του με

την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μπαταρία Li-ion έχει προτιμηθεί από τους περισσότερους κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως, καθώς παρέχουν σημαντική βελτίωση στην απόδοση. Η φόρτιση για τις συγκεκριμένες μπαταρίες είναι, η αργή φόρτιση στην οποία η μπαταρία συνδέεται σε μία πρίζα του σε μία οικία με την προϋπόθεση ότι η πρίζα προστατεύεται από ασφάλεια 16 A, ή με μία συσκευή φόρτισης με ειδικό τύπου βύσμα και ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου και προστασίας και μία παροχή ισχύος 3.5 kW την οποία μπορούν να δεχθούν όλα τα μοντέλα ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων. Σε αυτή τη περίπτωση μία πλήρης επαναφόρτιση μιας άδειας μπαταρίας, μπορεί να διαρκέσει 7 ώρες εάν η φόρτιση γίνεται με την συσκευή φόρτισης, ενώ αν γίνεται απευθείας από την πρίζα μπορεί να διαρκέσει έως 12 ώρες ή και περισσότερο. Η ημιταχεία φόρτιση, γίνεται με συσκευές οι οποίες είναι τοποθετημένες σε δημόσιους χώρους και παρέχουν εναλλασσόμενο ρεύμα με ισχύ από 7 kW έως 21 kW. Η φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 1 έως 3 ώρες, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και της έντασης ρεύματος του φορτιστή. Τέλος, στη ταχεία φόρτιση, οι συσκευές ταχυφόρτισης παρέχουν είτε συνεχές ρεύμα (DC) έντασης ως 50 kW, είτε εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ 44 kW για οχήματα που διαθέτουν ενσωματωμένο ταχυφορτιστή. Μία επαναφόρτιση σε ποσοστό 85%-90% της μπαταρίας διαρκεί από 20 έως 45 λεπτά, ανάλογα και με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος [31,32, 33].



**Σχήμα 9.2:** Δημόσια φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε δημόσιο χώρο στη Ρώμη [32]



**Σχήμα 9.3:** Μπαταρία ιόντων λιθίου για ηλεκτρικό αυτοκίνητο

- **Μπαταρίες ιόντων λιθίου σε Φ/Β συστήματα**

Μία από τις μεγαλύτερες αδυναμίες της ηλιακής ενέργειας είναι ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν μπορούν να παράγουν ενέργεια όταν δεν υπάρχει ήλιος. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δίνουν την λύση σε αυτό το πρόβλημα, διότι σε μια μέρα η οποία θα είναι βροχερή μέρα το σπίτι θα μπορεί να έχει ενέργεια. Το πλεονέκτημα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος μπορεί να μας προσφέρει μία με δύο μέρες ενέργειας για οικιακή χρήση. Επίσης, μπορούμε σε ώρες αιχμής όπου η ηλεκτρική ενέργεια τιμολογείται πιο ακριβά σε ώρες αιχμής, θα μπορούσαμε να επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε την αποθηκευμένη ενέργεια της μπαταρίας για οικονομία. Επιπλέον, η ύπαρξη μπαταριών βοηθά τις εταιρίες παροχής ενέργειας να εντάξουν στο δίκτυο τις ανανεώσιμες πηγές, καθώς η ηλιακή ενέργεια λειτουργεί με αυξομειώσεις, γεγονός που σημαίνει ότι προκαλεί αστάθεια στη τάση του δικτύου. Η αποθήκευση βοηθά στην εξισορρόπηση αυτών των αυξομειώσεων [34].

- **Διάφορες Εφαρμογές**

Οι μπαταρίες Li-ion βρίσκουν εφαρμογές και σε άλλους τομείς. Τα ηλεκτρικά εργαλεία όπως, το ηλεκτρικό κατσαβίδι. Σε διαστημικές εφαρμογές θα δούμε να χρησιμοποιείται μπαταρία Li-ion σε γεωστατικούς και σε πολιτικούς δορυφόρους, καθώς προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις, όπως, την ενεργειακή πυκνότητα, την ενεργειακή απόδοση και έχουν μικρότερο βάρος σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών. Η μπαταρία ιόντων λιθίου βρίσκει εφαρμογές σε ιατρικές συσκευές, για παράδειγμα μια συσκευή που χρησιμοποιεί μπαταρία Li-ion είναι ο καρδιογράφος. Επίσης συσκευές όπως, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, βιντεοκάμερες, σε φορητές κονσόλες παιχνιδιών, σε ηλεκτρονικά τσιγάρα καθώς και σε φακούς χρησιμοποιούν μπαταρίες Li-ion. Τέλος, η μπαταρία Li-ion έχει εφαρμογές και σε ηλεκτρικά ποδήλατα, ηλεκτρικά λεωφορεία καθώς και σε αναπηρικά ηλεκτρικά καροτσάκια [31].

---

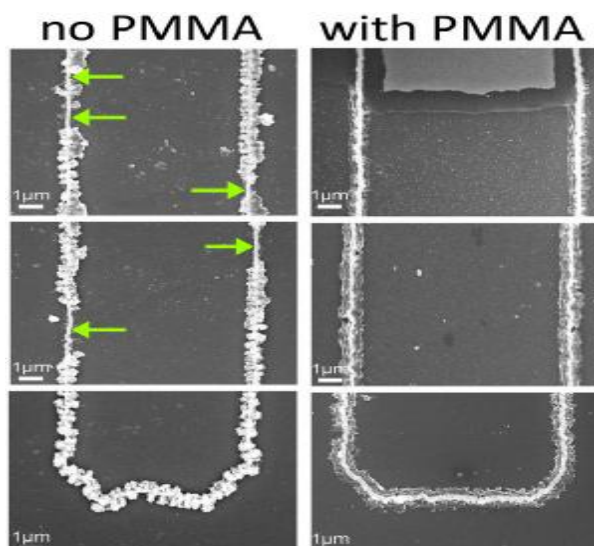
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

---

### ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

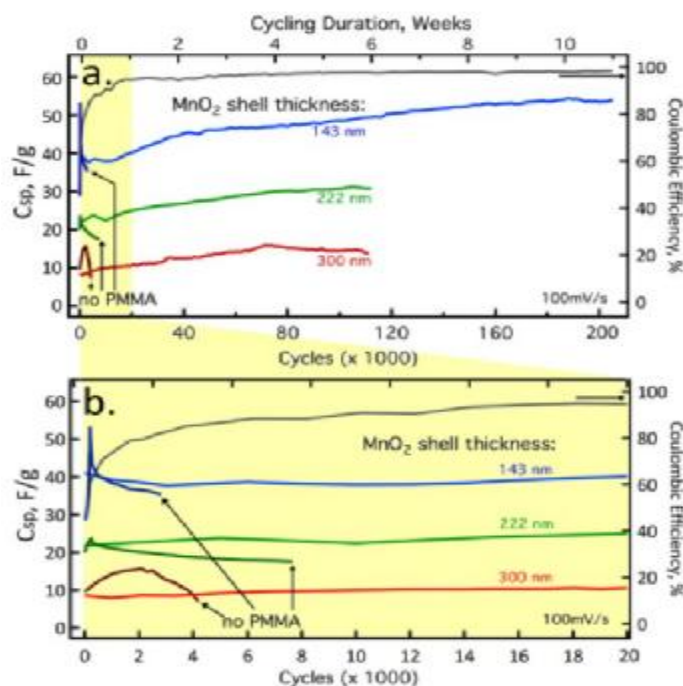
Στην εποχή την οποία ζούμε η τεχνολογία αυξάνεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς, πράγμα που σημαίνει ότι οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούμε όπως, laptops, tablets, smartphones κ.ά, εξελίσσονται και μας προσφέρουν όλο και περισσότερες εφαρμογές. Αυτή η εξέλιξη απαιτεί μία καλή μπαταρία για την αποθήκευση ενέργειας, η οποία θα μπορεί να φορτίζεται πολλές φορές χωρίς να χάνει την χωρητικότητά της και να αντέχει για περισσότερα χρόνια, χωρίς να χρειάζεται να αντικαθιστούμε την μπαταρία μας συχνά.

Πρόσφατα η Mya Le Thai *et al*, σε μια δημοσίευση [35] αναφέρει ότι, μπορεί να κάνει μια μπαταρία ιόντων λιθίου να διαρκέσει για πολλά χρόνια και εκατοντάδες κύκλους φόρτισης. Η έρευνα αυτή αφορά μία νέα μπαταρία η οποία αποτελείται από χρυσό νάνο σύρμα σε ένα κέλυφος διοξειδίου του μαγγανίου και με έναν ηλεκτρολύτη κατασκευασμένο από Plexiglas που μοιάζει με gel, ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται είναι ο PMMA gel ηλεκτρολύτης. Ο συνδυασμός αυτών των υλικών είναι πολύ ισχυρός και αξιόπιστος. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνουμε την φόρτιση της μπαταρίας με τον PMMA gel ηλεκτρολύτη και χωρίς αυτόν.



**Σχήμα 10.1:** Η αριστερή εικόνα μας δείχνει την μπαταρία μετά από 4000 φορτίσεις/αποφορτίσεις, ενώ στη δεξιά εικόνα βλέπουμε την μπαταρία με τον PMMA gel ηλεκτρολύτη μετά από 100.000 φορτίσεις/αποφορτίσεις.

Όλες οι μπαταρίες που χρησιμοποιούσαν διοξείδιο του μαγγανίου είχαν ένα κύκλο φόρτισης από 2000 έως 8000 κύκλους, με την αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με τον PMMA gel ηλεκτρολύτη μπορεί να ξεπεράσει τους 100.000 κύκλους φόρτισης καθώς και να διατηρεί την χωρητικότητά της περίπου στο 94-96%.



**Σχήμα 10.2:** Απεικόνιση των φορτίσεων της μπαταρίας μέχρι τους 20.000 κύκλους στο κάτω διάγραμμα και μέχρι των 200.000 κύκλων στο πάνω διάγραμμα και να διατηρεί την αποδοτικότητά της έως 98% περίπου. Επίσης βλέπουμε ότι χωρίς τον PMMA ηλεκτρολύτη η διάρκεια της μπαταρίας είναι μέχρι τους 7000 κύκλους περίπου.

Έτσι σύμφωνα με αυτή την έρευνα, όπως γίνεται κατανοητό η συγκεκριμένη μπαταρία θα έχει πολλούς κύκλους φορτίσεων/αποφορτίσεων, με αποτέλεσμα να διαρκεί πολλά χρόνια και έτσι να μην χρειάζεται αντικατάσταση η μπαταρία στις συσκευές που θα χρησιμοποιούμε.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχει αρκετές ελλείψεις που πρέπει να βελτιωθούν ώστε να παραμείνει στην αγορά αλλά και να επεκταθεί και σε άλλους κλάδους. Οι καταναλωτές αυτό που θέλουν είναι μία μπαταρία η οποία θα τους παρέχει περισσότερη ενέργεια αλλά και χωρητικότητα με χαμηλότερο κόστος.

Πολλές τροποποιήσεις έχουν γίνει ιδιαίτερα στα κελιά των μπαταριών, ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν γίνεται την ασφαλέστερη αλλά και την αποδοτικότερη μπαταρία.

## 10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καταναλωτές βρίσκονται σε συνεχή αναζήτηση για να βρουν μία μπαταρία η οποία θα τους προσφέρει, μεγάλη διάρκεια ζωής ώστε να φορτίζεται και να αποφορτίζεται πολλές φορές, να είναι μικρές σε μέγεθος, να είναι αποτελεσματικές για την χρήση που την χρειάζονται και να έχουν σχετικά χαμηλό κόστος. Η μπαταρία Li-ion μέχρι τώρα είναι αυτή η οποία μας προσφέρει όλα τα παραπάνω.

Αρχικά αναφερθήκαμε στην μπαταρία ιόντων λιθίου και είδαμε τις επιδόσεις τις οποίες προσφέρει καθώς και τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Όπως διαπιστώσαμε, ο υγρός ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιούσανε πολλές μπαταρίες ιόντων λιθίου, δεν είναι και τόσο ασφαλής διότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διαρροής και ανάφλεξης της μπαταρίας, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει κίνδυνος να μας προκαλέσουνε κάποια ζημιά σε εμάς, ή ακόμα και κατά την διάρκεια μεταφορών αυτών των μπαταριών. Έτσι, ήταν επιτακτική η ανάγκη να βρεθεί μία λύση για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα.

Η λύση αυτή ήρθε με την αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με έναν gel ηλεκτρολύτη. Όπως είδαμε αυτή η νέα εφαρμογή μας αποτρέπει μία πιθανή διαρροή, συνεπώς δεν υπάρχει ο κίνδυνος κάποιας ανάφλεξης της μπαταρίας, και εμποδίζοντας την επαφή των ηλεκτροδίων μεταξύ τους, μας αποτρέπει από ένα τυχόν βραχυκύκλωμα. Επίσης για να έχουμε καλή ιοντική αγωγιμότητα με το gel σαν ηλεκτρολύτη θα πρέπει να υπάρχει και ένα ικανοποιητικό ποσοστό από υγρά ιόντων. Με την μέθοδο sol-gel δημιουργούμε αυτό το gel, συνδυάζοντας υγρά ιόντων με ένα πήκτωμα το οποίο είναι το διοξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ ), και όπως είδαμε αυτός ο ηλεκτρολύτης παρουσιάζει μια πολύ καλή ιοντική αγωγιμότητα.

Σχετικά με την γήρανση της μπαταρίας συμπεράναμε ότι, καθώς φορτίζεται και αποφορτίζεται η μπαταρία, μειώνεται η χωρητικότητά της. Η χωρητικότητα είναι αυτή η οποία καθορίζει ουσιαστικά την ζωή της μπαταρίας. Επίσης είδαμε ότι και η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο για την διάρκεια ζωής της και διαπιστώσαμε ότι τις μπαταρίες ιόντων λιθίου πρέπει να τις λειτουργούμε σε θερμοκρασίες δωματίου και όχι σε ακραίες θερμοκρασίες. Ακόμα ασχοληθήκαμε και με την ανακύκλωση της μπαταρίας, που όπως διαπιστώσαμε η ανακύκλωση μιας μπαταρίας είναι τόσο σημαντική για το περιβάλλον μας καθώς και για την υγεία μας, σε αντίθετη περίπτωση είδαμε ότι το να πετάς μία μπαταρία στα σκουπίδια, ο κύκλος της μπαταρίας τελειώνει εκεί, και προκαλούμε καταστροφή του περιβάλλοντος αλλά και στην ίδια μας την υγεία.

Όσον αφορά για την φόρτιση της μπαταρίας, είδαμε αρχικά τον μηχανισμό με τον οποίο γίνεται η φόρτιση και η αποφόρτιση. Όπως διαπιστώσαμε η ιδανική φόρτιση για μία μπαταρία Li-ion είναι να γίνονται συχνά φορτίσεις και να μην τις αφήνουμε να αποφορτίζονται τελείως διότι, χάνουν γρηγορότερα την χωρητικότητά τους. Συνεπώς η ιδανική φόρτιση για να έχουμε καλή απόδοση της μπαταρίας και μεγαλύτερη διάρκεια είναι μεταξύ του 40 και 80%.

Οι ηλεκτρονικές όπως τα laptops, κινητά τηλέφωνα, tablets, smartphones, καθώς και σε άλλες εφαρμογές όπως είδαμε στο κεφάλαιο 6, οι οποίες χρησιμοποιούν την μπαταρία Li-ion για αποθήκευση ενέργειας.

Συνεπώς αυτό που συμπεραίνουμε είναι ότι η μπαταρία Li-ion είναι η καλύτερη επιλογή για την χρησιμοποίηση της σε εφαρμογές στις οποίες απαιτείται αποθήκευση ενέργειας. Είναι αυτή την στιγμή μία αρκετά καλή επαναφορτιζόμενη μπαταρία καθώς προσφέρει πολλούς κύκλους φορτίσεων/αποφορτίσεων και πλέον με την χρήση gel ηλεκτρολύτη, όπως προαναφέραμε, κάνει την μπαταρία ιόντων λιθίου πιο αξιόπιστη.

Η τεχνολογία όμως των συσκευών δεν σταματά καθώς βλέπουμε συνεχώς να έχουμε καινούριες εφαρμογές στις φορητές μας συσκευές με αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε περισσότερη αποθηκευτική ενέργεια. Έτσι, και η εξέλιξη της μπαταρίας Li-ion είναι επιτακτική, ώστε να μπορεί να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις αυτών των νέων εφαρμογών, με αποτέλεσμα χρόνο με τον χρόνο να γίνονται διάφορες τροποποιήσεις στα κελιά των μπαταριών ώστε να έχουμε μία ασφαλή μπαταρία, αλλά και να μπορεί να καλύπτει τις απαιτήσεις των εφαρμογών.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ

- [1] <http://9lyk-thess.thess.sch.gr/History/volta.htm> (Ανάκτηση 20-12-2016)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_battery) (Ανάκτηση 20-12-2016)
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#History](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#History) (Ανάκτηση 20-12-2016)
- [4] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%81%CF%8E%CF%81%CE%B9%CE%BF>
- [5] <http://jkon.aeromodelling.gr/ninter-073a.htm>
- [6] [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1)
- [7] <http://www.caroto.gr/2011/02/20/battery-technology/>
- [8] [http://www.oximaton.drwx.eu/files/hlektr\\_kai\\_yvrid\\_oxhm\\_kef\\_3.pdf](http://www.oximaton.drwx.eu/files/hlektr_kai_yvrid_oxhm_kef_3.pdf)
- [9] [http://batteryuniversity.com/learn/article/what\\_is\\_the\\_c\\_rate](http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate)
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Primary\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_cell)
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery)
- [12] David Linden, Thomas Reddy, Handbook of Batteries, Mc Graw – Hill, 3rd edition 2001
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_cobalt\\_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_cobalt_oxide)
- [14] Y. Baba, S. Okada, J. Yamaki, Solid State Ion. 148 (2002)
- [15] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_iron\\_phosphate\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery)
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_ion\\_manganese\\_oxide\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_manganese_oxide_battery)
- [17] [http://batteryuniversity.com/learn/article/possible\\_solutions\\_for\\_the\\_battery\\_problem\\_on\\_the\\_boeing\\_787](http://batteryuniversity.com/learn/article/possible_solutions_for_the_battery_problem_on_the_boeing_787)
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Negative\\_electrode](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Negative_electrode)
- [19] Jung-Ki Park, Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries (2012)
- [20] Feng Wu, Nan Chen, Renjie Chen, Qizhen Zhu, Ji Qian and Li Li. "Liquid-in-solid" and "solid-in-liquid" electrolytes with high rate capacity and long cycling life for lithium-ion batteries. Chemistry of Materials, 2-6, 2016.
- [21] [http://batteryuniversity.com/learn/article/safety\\_concerns\\_with\\_li\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion)
- [22] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Safety](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Safety)
- [23] [http://batteryuniversity.com/learn/archive/lithium\\_ion\\_safety\\_concerns](http://batteryuniversity.com/learn/archive/lithium_ion_safety_concerns)
- [24] [http://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries)
- [25] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Battery\\_life](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Battery_life)

- [26] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Environmental\\_concerns\\_and\\_recycling](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Environmental_concerns_and_recycling)
- [27] <http://www.afis.gr/anakyklosi-kyklos-zois>
- [28] <http://www.e-fakos.gr/index.php?route=pavblog/blog&id=18>
- [29] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Charge\\_and\\_discharge](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Charge_and_discharge)
- [30] [http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- [31] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery#Uses](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery#Uses)
- [32] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car)
- [33] <http://www.teamenergy.gr/%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%9A%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%9F%CE%A7%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91.html>
- [34] <http://www.fortunegreece.com/article/bataries-iliakis-energias-gia-spiti/>
- [35] Mya Le Thai, Girija Thesma Chandran, Rajen K. Dutta, Xiaowei Li, and Reginald M. Penner. 100k Cycles and Beyond: Extraordinary Cycle Stability for MnO<sub>2</sub> Nanowires Imparted by a Gel Electrolyte. *Acs Energy Letters*. 58-63. 2016