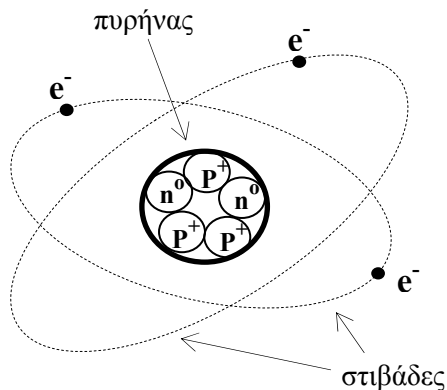
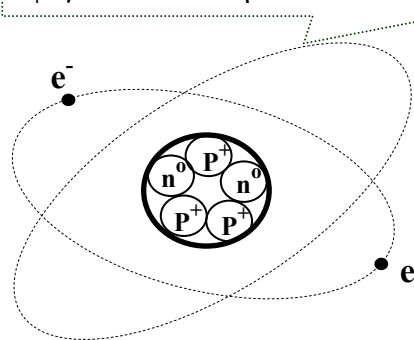


(Ουδέτερο) άτομο Λιθίου LiΘετικό ιόν (κατιόν) Λιθίου Li<sup>+</sup>έφυγε το e<sup>-</sup> από την τελευταία στιβάδαΗλεκτροστατικά φαινόμενα

Η ύλη, όπως την ερμηνεύουμε ως σήμερα, αποτελείται από μόρια τα οποία σχηματίζονται με συνδυασμούς ατόμων. Τα άτομα αποτελούνται από τρία σωματίδια. Το πρωτόνιο, το νετρόνιο και το ηλεκτρόνιο. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια βρίσκονται στον πυρήνα του ατόμου, ενώ τα ηλεκτρόνια, σύμφωνα με το κλασικό πρότυπο, κινούνται, με μεγάλες ταχύτητες, σε μεγάλη απόσταση γύρω από αυτόν σε στιβάδες. Π.χ. το άτομο Li (Λιθίου) του σχήματος.

Τι κάνει όμως τα ηλεκτρόνια να συγκρατούνται σε κίνηση γύρω από τον πυρήνα; Κάποια ιδιότητα πρέπει να έχουν και αυτή η ιδιότητα να δημιουργεί τη δύναμη αλληλεπίδρασης τους με τον πυρήνα.

Την ιδιότητα αυτή την ονομάζουμε **ηλεκτρικό φορτίο**, το οποίο το συμβολίζουμε με **Q** ή **q** και το μετράμε σε Coulomb, 1C.

Θεωρούμε ότι το πρωτόνιο έχει θετικό φορτίο, το οποίο γνωρίζουμε ότι έχει τιμή  $q_p^+ = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C, το νετρόνιο  $n^0$  δεν είναι φορτισμένο και ότι το ηλεκτρόνιο έχει αρνητικό φορτίο  $q_e^- = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Τα ηλεκτρόνια λοιπόν (που έχουν αρνητικό φορτίο) έλκονται από τα πρωτόνια (επειδή έχουν θετικό φορτίο) και αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο γυρνάνε γύρω από τον πυρήνα. Αυτό σημαίνει ότι **τα ετερόνυμα φορτία έλκονται**.

Τα ηλεκτρόνια από την άλλη, διατηρούν κάποια απόσταση μεταξύ τους κατά την κίνησή τους γύρω από τον πυρήνα και αυτό συμβαίνει (μεταξύ άλλων) γιατί έχουν το ίδιο (αρνητικό) φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι **τα ομόνυμα φορτία απωθούνται**.

(Για όσους αναρωτιούνται γιατί τα πρωτόνια αν και έχουν όλα θετικό φορτίο δηλαδή είναι ομόνυμα δεν απωθούνται, αλλά συγκρατούνται στον πυρήνα, η απάντηση είναι γιατί τα σωματίδια του πυρήνα αλληλεπιδρούν όχι μόνο με ασθενείς ηλεκτρικές, αλλά και με ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις.)

Μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί στη φύση ηλεκτρικό φορτίο που να είναι μικρότερο από το φορτίο του πρωτονίου (ή του ηλεκτρονίου αφού είναι ίσα κατ' απόλυτη τιμή). Επομένως, το φορτίο του πρωτονίου (ή του ηλεκτρονίου) θεωρείται σαν στοιχειώδες φορτίο και είναι το μικρότερο που απαντάται στη φύση.

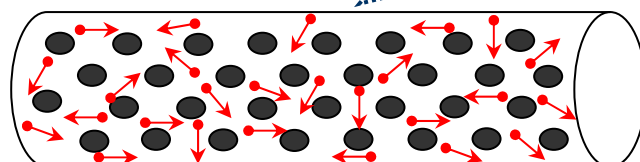
Παρατηρείστε στο σημείο αυτό ότι αν και τα φορτία του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι ίσα (κατ' απόλυτη τιμή), η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου, για αυτό θεωρούμε ότι η μάζα του ατόμου είναι ουσιαστικά η μάζα του πυρήνα του.

Τα **άτομα** στην φυσική τους κατάσταση είναι **ουδέτερα**, δηλαδή έχουν ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων (όπως το άτομο λιθίου Li). Έτσι, αν ένα άτομο αποκτήσει για κάποιο λόγο ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο, αποκτά ταυτόχρονα και ένα αρνητικό φορτίο (όπως το **ανιόν** χλωρίου Cl<sup>-</sup>), ενώ αν χάσει ένα ηλεκτρόνιο έχει θετικό φορτίο (όπως το **κατιόν** νατρίου Na<sup>+</sup> ή το **κατιόν** λιθίου Li<sup>+</sup> στο πάνω σχήμα).

Υπάρχουν στη φύση κάποια υλικά στα οποία τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων τους είναι πιο χαλαρά συνδεδεμένα με τον πυρήνα και μπορούν ευκολότερα να αποσπαστούν από το άτομο και να ταξιδεύουν ελεύθερα μέσα τους (ελεύθερα ηλεκτρόνια). Τα υλικά αυτά ονομάζονται **αγωγοί** (τα μέταλλα, οι ηλεκτρολύτες, εμείς, ο υγρός αέρας όπως «είδαμε» στο πείραμα).

Τα μέταλλα όταν είναι φορτισμένα, το ηλεκτρικό τους φορτίο λόγω των ελεύθερων ηλεκτρονίων **διαχέεται** στην επιφάνειά τους.

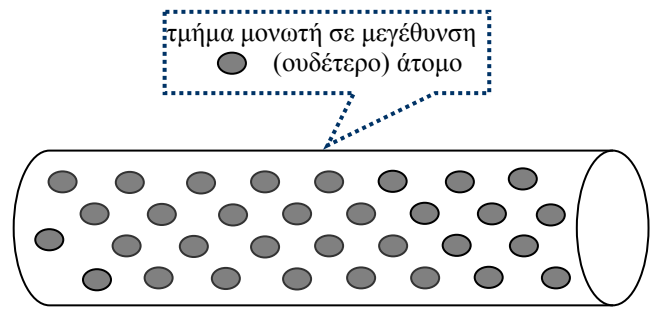
τμήμα μεταλλικού αγωγού (σύρματος) σε μεγέθυνση  
 ● θετικό ιόν  
 ● ελεύθερο ηλεκτρόνιο που κινείται



Σε κάποια άλλα υλικά, οι πυρήνες των ατόμων συγκρατούν καλά τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα τους. Τα υλικά αυτά λέγονται **μονωτές** (το ξύλο, το γυαλί, το λάστιχο, τα πλαστικά) και δεν επιτρέπουν να περάσει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα τους.

Όταν ηλεκτριστούν οι μονωτές, ηλεκτρίζονται τοπικά, το φορτίο τους δηλαδή μένει **εντοπισμένο** στο σημείο επαφής ή τριβής.

Τέλος, υπάρχουν και κάποια υλικά τα οποία έχουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά και λέγονται **ημιαγωγοί** (το γερμάνιο, το πυρίτιο).



Πως γίνεται όμως η ηλεκτρίση των σωμάτων;

Οι πρώτες μακροσκοπικές παρατηρήσεις, ήδη από τον 6<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα έδειξαν ότι μεταξύ υλικών, έπειτα από τρίψιμο σε κομμάτι μάλλινου ύφασματος, ασκείται απωστική δύναμη από απόσταση, ενώ ανάμεσα στα υλικά αυτά και το μάλλινο ύφασμα ασκείται ελκτική δύναμη από απόσταση.

Οι δυνάμεις αυτές ονομάστηκαν **ηλεκτρικές δυνάμεις**.

Μετά από πειράματα, παρατηρήθηκαν τρεις τρόποι με τους οποίους μπορούν να **ηλεκτριστούν τα σώματα**:

1) **Ηλεκτρίση με τριβή**: Λόγω της τριβής, φεύγουν ηλεκτρόνια από το γυαλί και μεταφέρονται στο μάλλινο ύφασμα με αποτέλεσμα το γυαλί να φορτιστεί θετικά (αφού του λείπουν ηλεκτρόνια) και το μάλλινο ύφασμα να φορτιστεί αρνητικά (αφού έχει πλέον περίσσεια ηλεκτρονίων).

**Α.Δ.Φ.** Προσέξτε ότι το γυαλί και το μάλλινο ύφασμα αρχικά ήταν αφόρτιστα, δηλαδή είχαν συνολικό φορτίο μηδέν. Το ίδιο θα έχουν και μετά την φόρτισή τους (αν το γυαλί απέκτησε φορτίο 4 nC, το μάλλινο ύφασμα θα έχει - 4 nC ώστε το συνολικό τους φορτίο να είναι πάλι μηδέν).

2) **Ηλεκτρίση με επαφή**: Έστω ότι έχουμε το προηγούμενο γυαλί που, λόγω τριβής, έχει φορτιστεί θετικά.

Αν το ακουμπήσουμε πάνω σε έναν αφόρτιστο αγωγό, τότε ο αγωγός θα αποκτήσει θετικό φορτίο.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια του αγωγού (που έχουν αρνητικό φορτίο) έλκονται από το θετικά φορτισμένο γυαλί, με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της επαφής, κάποια από αυτά τα ηλεκτρόνια να φεύγουν από τον αγωγό και να μεταφέρονται στο γυαλί.

Φυσικά και εδώ ισχύει η **Α.Δ.Φ.** Έτσι, αν αρχικά το γυαλί είχε φορτίο 4  $\mu\text{C}$  και ο αγωγός μηδέν και μετά την επαφή το γυαλί έχει φορτίο 3  $\mu\text{C}$ , ο αγωγός πρέπει να έχει φορτίο 1  $\mu\text{C}$  ώστε το συνολικό τους φορτίο να είναι πάλι 4  $\mu\text{C}$ .

3) **Ηλεκτρίση με επαγωγή**: (εκτός ύλης) Αν κάνουμε το ίδιο πείραμα αλλά δεν ακουμπήσουμε τώρα το θετικά φορτισμένο γυαλί πάνω στον αγωγό παρά το πλησιάσουμε σε μικρή απόσταση, τότε το γυαλί πάλι έλκει τα ηλεκτρόνια του αφόρτιστου αγωγού, μόνο που τώρα αυτά δεν μπορούν να μεταφερθούν από το ένα υλικό στο άλλο. Μαζεύονται λοιπόν στην μία πλευρά του αγωγού τα ηλεκτρόνια (σε αυτή που είναι κοντά στη ράβδο) με αποτέλεσμα η άλλη πλευρά του αγωγού να έχει έλλειψη ηλεκτρονίων και να ηλεκτριστεί θετικά.

Αν τώρα απομακρύνουμε το γυαλί από τον αγωγό, τα ηλεκτρόνια θα γυρίσουν στην προηγούμενη θέση τους. Προσέξτε ότι στην ηλεκτρίση με επαγωγή, τα σώματα δεν φορτίζονται, δεν αλλάζει δηλαδή το φορτίο τους, μόνο ηλεκτρίζονται δηλαδή γίνεται μετατόπιση του φορτίου.

Σε όλα τα παραπάνω πειράματα με αγωγούς, παρατηρήστε ότι **τα υλικά είναι μονωμένα** για να διατηρήσουν τη φόρτισή τους. Δείτε σε όλες τις εικόνες του βιβλίου, όπου έχει μεταλλικές σφαίρες, έχει και πλαστικές ράβδους για να τις κρατάμε. Αν δεν είχαν οι μεταλλικές σφαίρες μόνωση, τα φορτία θα περνούσαν από το χέρι μας στη Γη ή από τη βάση των αγωγών στη Γη, με αποτέλεσμα κανένα από αυτά τα σώματα να μην φορτιστεί.

Μπορείτε να σκεφτείτε γιατί δεν έχει την ανάλογη μόνωση στις γυάλινες ράβδους; Γιατί αυτές τις πιάνει με το χέρι;

Κάποια όργανα που μας επιτρέπουν να βλέπουμε αν κάποιο σώμα είναι φορτισμένο ή όχι, είναι το **ηλεκτρικό εκκρεμές** και το **ηλεκτροσκόπιο**.

**Νόμος του Coulomb**

Τα πειράματα που έκανε ο Coulomb, έδειξαν ότι οι δυνάμεις με τις οποίες αλληλεπιδρούν δύο στατικά (δηλαδή ακίνητα) σημειακά (οι διαστάσεις τους είναι τόσο μικρές ώστε να μπορούν να θεωρηθούν σαν σημεία) φορτία είναι πιο ισχυρή όταν τα φορτία είναι «μεγαλύτερα» και ότι ελαττώνεται ραγδαία όταν μεγαλώνει η μεταξύ τους απόσταση. Τα πειράματα επίσης έδειξαν ότι υπάρχει και μια σταθερά αναλογίας η οποία συμβολίζεται με  $k$ .

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα από αυτά τα πειράματα, ο Coulomb διατύπωσε τον ακόλουθο νόμο:

**Το μέτρο των δυνάμεων αλληλεπίδρασης  $F$  δύο στατικών σημειακών ηλεκτρικών φορτίων  $Q_1$  και  $Q_2$ , είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης  $r$ .**

Ο νόμος του Coulomb μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:  $F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$  όπου,

$k$  είναι η σταθερά αναλογίας που εξαρτάται από το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα φορτία.

Αν τα φορτία βρίσκονται στο κενό (ή προσεγγιστικά στον αέρα), η τιμή της  $k$  έχει προσδιοριστεί

πειραματικά σε  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ . Η σταθερά  $k$  έχει τέτοιες μονάδες ώστε η μονάδα μέτρησης της

δύναμης να είναι το N.

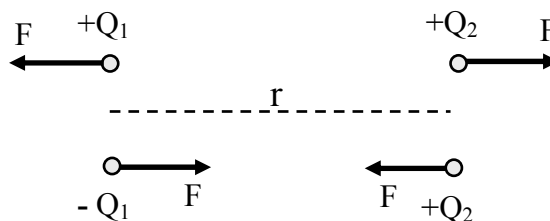
$r$  είναι η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων και είναι αυτή που καθορίζει την διεύθυνση της δύναμης.

$Q_1$  και  $Q_2$  είναι τα στατικά σημειακά φορτία που αλληλεπιδρούν.

Προσέξτε σε αυτό το σημείο ότι αφού τα φορτία αλληλεπιδρούν, θα υπάρχουν δύο δυνάμεις. Είναι οι γνωστές μας Δράση – Αντίδραση. Οι δυνάμεις αυτές θα έχουν φυσικά το ίδιο μέτρο και αντίθετη φορά που σημαίνει διαφορετικό πρόσημο. Μη μπερδευτείτε με τα πρόσημα αυτών των δυνάμεων, ποια από τις δύο θα είναι θετική και ποια αρνητική. Το πρόσημο που προκύπτει από το νόμο του Coulomb δεν μας δείχνει τη φορά που θα έχει η μία από τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης, μας δείχνει μόνο αν είναι ελκτικές ή απωστικές. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο ο τύπος κανονικά έχει απόλυτο.

Η φορά των δυνάμεων αλληλεπίδρασης φαίνεται στην Εικόνα και την βρίσκουμε ως εξής:

Όταν τα φορτία είναι ομώνυμα  $\Rightarrow$  τα φορτία απωθούνται  $\Rightarrow$  οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης θα έχουν φορά προς τα έξω.



Όταν τα φορτία είναι ετερόνυμα  $\Rightarrow$  τα φορτία έλκονται  $\Rightarrow$  οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης θα έχουν φορά από το ένα φορτίο προς το άλλο.

**Ασκήσεις 1<sup>ο</sup> κεφαλαίου Με...λίσσάρη**

1) Έστω ότι φέρνω σε επαφή δύο φορτισμένα σώματα με φορτία  $Q_1 = -9,8 \text{ nC}$  και  $Q_2 = -1 \text{ nC}$ . Αν μετά την επαφή το πρώτο σώμα έχει φορτίο  $Q_1' = -6 \text{ nC}$ ,

**A)** Ποιο θα είναι το φορτίο του δεύτερου σώματος μετά την επαφή και γιατί;

**B)** Ποια σωματίδια μεταφέρθηκαν, από ποιο σώμα σε ποιο και πόσα είναι τελικά τα πλεονάζοντα σωματίδια του δεύτερου σώματος;

Δίνεται το φορτίο του ηλεκτρονίου:  $q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

**A)** Αρχή Διατήρησης Φορτίου:  $Q_{\text{ολ.αρχ.}} = Q_{\text{ολ.τελ.}}$

$$Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2'$$

$$Q_2' = Q_1 + Q_2 - Q_1'$$

$$Q_2' = -9,8 \text{ nC} - 1 \text{ nC} - (-6 \text{ nC})$$

$$\boxed{Q_2' = -4,8 \text{ nC}} \quad \text{ή} \quad \boxed{Q_2' = -4,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}}$$

**B)** Μεταφέρθηκαν ηλεκτρόνια από το πρώτο φορτισμένο σώμα  $Q_1$  στο δεύτερο  $Q_2$ .

$$1e^- \quad -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$x e^- \quad -4,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$x \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) = -4,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$x = \boxed{3 \cdot 10^{10} e^-} \quad (30 \text{ δισεκατομμύρια ηλεκτρόνια})$$

2) Έστω δυο στατικά σημειακά φορτία  $Q_1 = 8 \mu\text{C}$  και  $Q_2$  τα οποία βρίσκονται στο κενό και σε απόσταση  $r = 4 \text{ cm}$  μεταξύ τους. Τα φορτία αλληλεπιδρούν με δυνάμεις Coulomb  $F = 9 \text{ N}$ .

A) Αν η σταθερά  $k$  είναι  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ , να βρεθεί το φορτίο  $Q_2$ .

B) Διατηρώντας το κενό, το φορτίο  $Q_1$  και την απόσταση  $r$  σταθερά, να υπολογιστεί πόσο θα πρέπει να γίνει το φορτίο  $Q_2$  ώστε η δύναμη αλληλεπίδρασης να γίνει  $F' = 27 \text{ N}$ ;

Γ) Ναδειχθεί ότι συμφωνεί το αποτέλεσμα που βρήκατε με το νόμο του Coulomb.

A) Δεδομένα

Ζητούμενα

$$Q_1 = 8 \mu\text{C} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = ;$$

$$r = 4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$F = 9 \text{ N}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Σύμφωνα με τον τύπο από το νόμο του Coulomb έχουμε ότι:  $F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Ζητείται το φορτίο  $Q_2$ , συνεπώς λύνω τον τύπο ως προς  $Q_2$ :  $F \cdot r^2 = k \cdot Q_1 \cdot Q_2 \Rightarrow Q_2 = \frac{F \cdot r^2}{k \cdot Q_1}$

Αντικαθιστούμε τώρα στον τύπο τις τιμές :

$$Q_2 = \frac{9 \text{ N} \cdot (4 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = \frac{9 \text{ N} \cdot 16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}^2}{10^9 10^{-6} \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \text{ C}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{9-6} \frac{1}{\text{C}}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^3} \text{ C}$$

$$\Rightarrow Q_2 = 2 \cdot 10^{-4-3} \text{ C} \Rightarrow \boxed{Q_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}}$$

B) Δεδομένα

Ζητούμενα

$k, Q_1, r$  σταθερά

$$Q_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

$$Q_2' = ;$$

$$F' = 27 \text{ N}$$

Ξέρουμε από τον τύπο του νόμου του Coulomb ότι  $F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Αν αλλάξουμε μόνο τη δύναμη και το  $Q_2$ , θα γίνει  $F' = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2'}{r^2}$

$$(\text{Διαιρώ κατά μέλη, απαλοιφή όμοιων όρων}) \quad \frac{F}{F'} = \frac{\frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2}}{\frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2'}{r^2}} \Rightarrow \frac{F}{F'} = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot r^2}{k \cdot Q_1 \cdot Q_2' \cdot r^2} \Rightarrow \frac{F}{F'} = \frac{Q_2}{Q_2'}$$

$$(\text{χιαστί}) \quad F \cdot Q_2' = F' \cdot Q_2 \quad (\text{διαιρώ με το συντελεστή του αγνώστου}) \quad Q_2' = \frac{F' \cdot Q_2}{F}$$

$$(\text{αντικαθιστώ τις τιμές που έχω στα δεδομένα}) \quad Q_2' = \frac{27 \text{ N} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{9 \text{ N}} \Rightarrow \boxed{Q_2' = 6 \cdot 10^{-7} \text{ C}}$$

Γ) Σύμφωνα με το νόμο του Coulomb το μέτρο των δυνάμεων αλληλεπίδρασης  $F$  δύο στατικών σημειακών ηλεκτρικών φορτίων είναι ανάλογο του φορτίου  $Q_1$ , ανάλογο του φορτίου  $Q_2$  και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης  $r$ .

Κρατώντας τα  $k, Q_1$  και  $r$  σταθερά για να τριπλασιαστεί η δύναμη (από 9 N να γίνει 27 N), θα πρέπει να τριπλασιαστεί το φορτίο  $Q_2$ .

Το φορτίο από  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  γίνεται  $Q_2' = 6 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ , δηλαδή πράγματι τριπλασιάζεται.