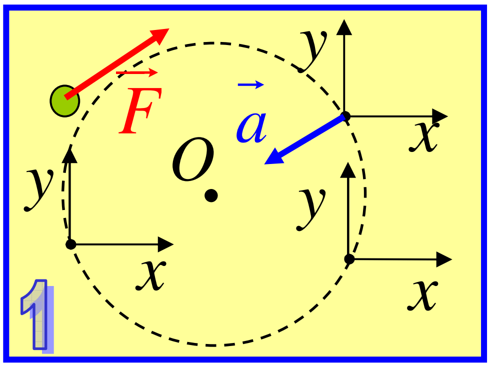
Οι τρεις σωματοφύλακες, φυγόκεντρος, Coriolis, d' Alembert.
Μέρος πρώτον.

Που ήταν τέσσερεις μαζί με την δύναμη Euler. Την έφαγα στο παρόν πόνημα.
Μου είναι συμπαθέστατη αλλά δεν συγχέεται με τις άλλες. Εμφανίζεται μόνο συνοδευόμενη από γωνιακές επιταχύνσεις, κάτι που την καθιστά «κραγμένη». Αντίθετα είναι πολύ απλό το να μπερδέψεις τις άλλες.
Δεν την έχω πατήσει ούτε μία, ούτε δύο φορές. Σε πρόσφατη συζήτηση απεκάλεσα «φυγόκεντρο» μία καθαρόαιμη d' Alembert. Χωρίς να παρεξηγηθεί ευτυχώς.
Ένας καλός τρόπος να καταλάβεις κάτι είναι να προσπαθήσεις να το παρουσιάσεις.
Αυτό κάνω και με αυτήν την πρόθεση.
Περιορίζομαι σε επίπεδες κινήσεις.

Τρία συστήματα αναφοράς, όχι αδρανειακά.



Το σύστημα αναφοράς εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση.
Διατηρεί τον προσανατολισμό του.
Κάθε στιγμή θεωρούμε ότι σε ένα σώμα ασκείται και η δύναμη d' Alembert. Αυτή είναι:

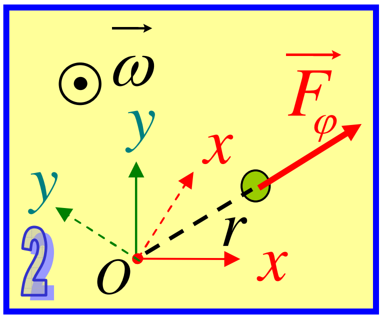
$$\vec{F} = -m \cdot \vec{a}$$

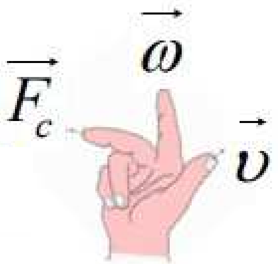
Δυνάμεις Coriolis και φυγόκεντρος δεν εμφανίζονται.

Το σύστημα περιστρέφεται με <u>σταθερή</u> γωνιακή ταχύτητα ω.
Δεν υπάρχει δύναμη d' Alembert.
Ασκείται , εκτός των άλλων, η φυγόκεντρος:

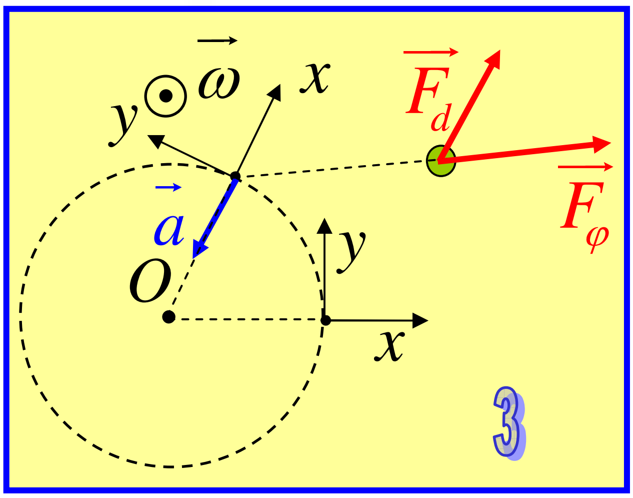
$$F_\varphi = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Διέρχεται από το Ο.
Αυξάνεται με την απόσταση από το Ο.





Ενίοτε ασκείται και η Coriolis, αν η ταχύτητα του σώματος δεν έχει ίδια διεύθυνση με την γωνιακή ταχύτητα.
Αυτή είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζουν οι υ και ω.
Είναι ίση με $F_C = 2\omega \cdot \upsilon \cdot \eta\mu\varphi$, όπου φ η γωνία μεταξύ $\vec{\upsilon}$ και $\vec{\omega}$.
Η φορά της με τον κανόνα των τριών δακτύλων.

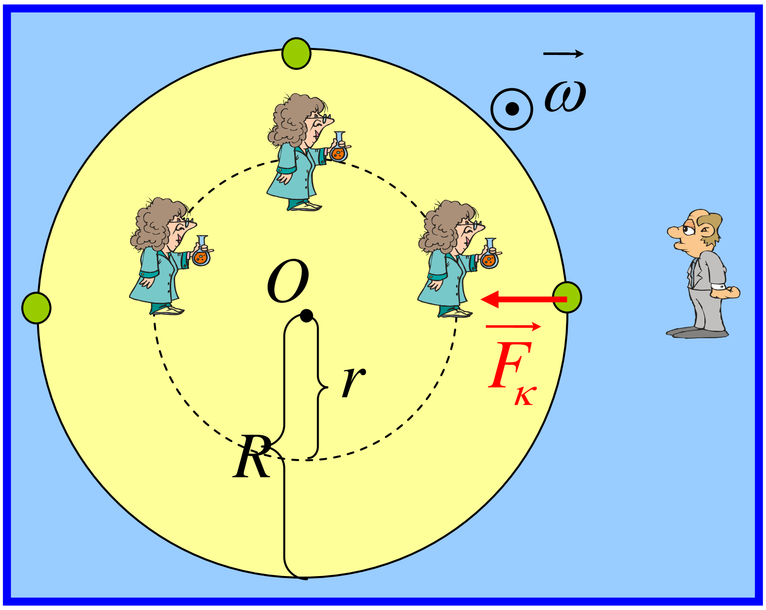


Στην ειδική αυτήν περίπτωση, το σύστημα περιστρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα περιφοράς του.
Βλέπει το Ο ακίνητο.

Δέχεται σίγουρα τις d' Alembert και φυγόκεντρο.
Υπό τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις, δέχεται και την Coriolis.

Το αν θα χρησιμοποιήσουμε κάποιο από τα τρία συστήματα, πότε και γιατί, είναι θέμα συγκυρίας και επιλογής.

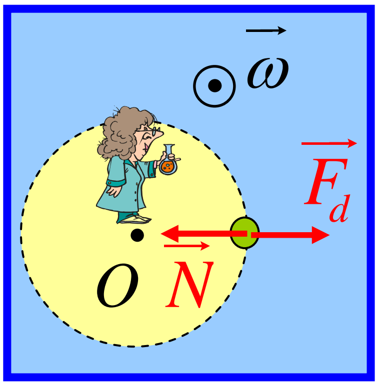
Η d’ Alembert (και όχι d’ Artagnan) μόνη της.



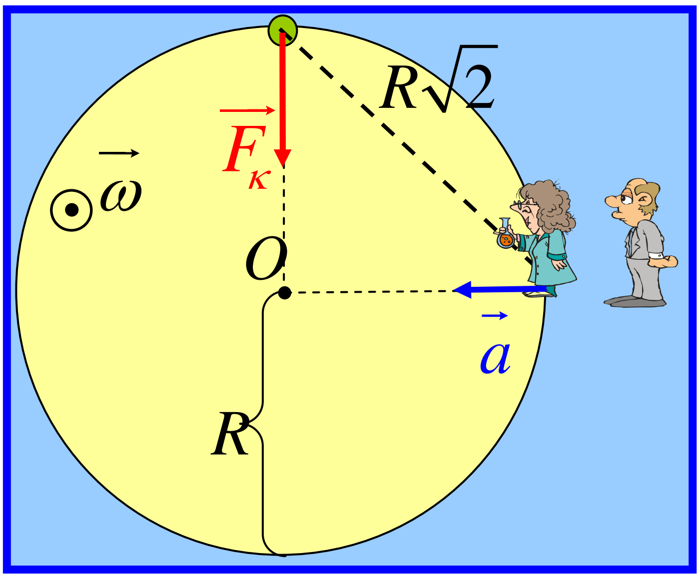
Ο κύριος βλέπει το μπαλάκι να εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση ακτίνας R.
Είναι καρφωμένο και δέχεται από το καρφί την κεντρομόλο δύναμη.
Αυτή είναι:
$F_\kappa = m\cdot\omega^2\cdot R$
Απλά τα πράγματα.

Η κυρία βλέπει στον αισθητήρα δύναμης να καταγράφεται η ίδια δύναμη μέτρου $m\cdot\omega^2\cdot R$.
Πως την μεταφράζει όμως;
Προσοχή στο ότι η κυρία δεν αλλάζει προσανατολισμό. Βλέπει το μπαλάκι άλλοτε μπροστά της ,άλλοτε αριστερά της και άλλοτε πίσω της. Απέχει από αυτήν συνεχώς R-r.
Τι συμπεραίνει λοιπόν;

Θεωρεί ότι το μπαλάκι περιστρέφεται περί αυτήν με γωνιακή ταχύτητα $\vec{\omega}$ σε κυκλική τροχιά ακτίνας R-r.
Βλέπει την δύναμη που καταγράφει ο αισθητήρας $N = m\cdot\omega^2\cdot R$ και την δύναμη d’ Alembert ίση προς $F_d = m\cdot\omega^2\cdot r$.
Σκέφτεται ότι αυτές πρέπει να δώσουν την κεντρομόλο δύναμη
$F'_\kappa = m\cdot\omega^2\left(R-r\right)$
Αν δείτε τις παραπάνω σχέσεις βλέπετε ότι $F'_\kappa = N - F_d$.
Δεν θα μπορούσε να διαφωνήσει με τον κύριο για την ένδειξη του αισθητήρα.



Η d’ Alembert και πάλι μόνη της.



Και ο κύριος και η κυρία βλέπουν να καταγράφεται δύναμη $m\cdot\omega^2\cdot R$ στο μπαλάκι.
Ο κύριος την θεωρεί κεντρομόλο.
Ο κύριος βλέπει την κυρία έχουσα επιτάχυνση
$a = \omega^2\cdot R$

Η κυρία βλέπει το μπαλάκι να περιστρέφεται περί αυτήν με γωνιακή ταχύτητα $\vec{\omega}$ σε κυκλική τροχιά ακτίνας $R\sqrt{2}$.

Βλέπει το Ο να περιστρέφεται περί αυτήν, με γωνιακή ταχύτητα $\vec{\omega}$ σε κυκλική τροχιά ακτίνας R.
Επειδή η κυρία δεν περιστρέφεται, δεν βλέπει φυγόκεντρο, ούτε Coriolis.

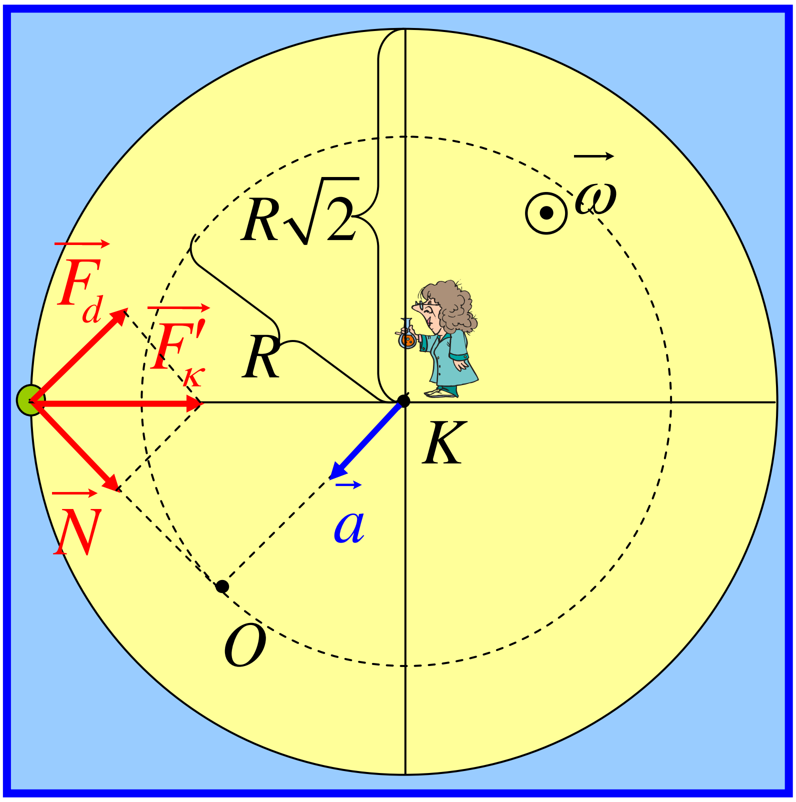
Η κυρία πρέπει να δει την δύναμη που ο αισθητήρας καταγράφει ακριβώς όπως ο κύριος.
Μόνο που θα της δώσει τον απλό συμβολισμό $\vec{N}$.
Στο επόμενο σχήμα η σκοπιά της κυρίας.

Βλέπει την $N = m \cdot \omega^2 \cdot R$
Βλέπει, την κάθετη προς αυτήν, d' Alembert $F_d = m \cdot \omega^2 \cdot R$.

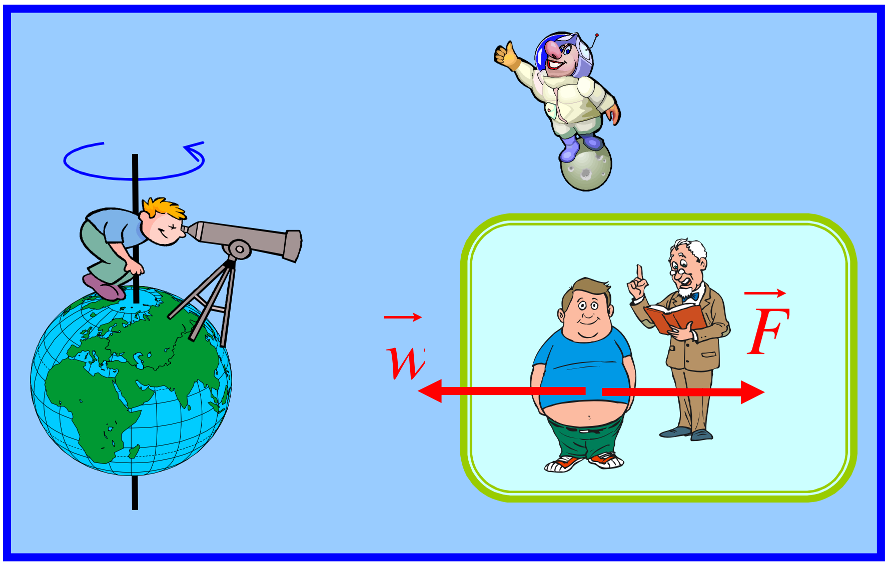
Ίσες είναι λέει και κάθετες.
Οπότε η συνισταμένη τους έχει μέτρο $m \cdot \omega^2 \cdot R\sqrt{2}$.

Επίσης λόγω Γεωμετρίας στοχεύει το κέντρο του κύκλου μου.
Είναι ίση με την κεντρομόλο;
Φυσικά είναι διότι η κεντρομόλος είναι $F'_\kappa = m \cdot \omega^2 \cdot R\sqrt{2}$.

Οπότε βλέπει και αυτή την δύναμη του καρφιού τόση όση ο κύριος, όμως δεν την θεωρεί κεντρομόλο δύναμη.



Φυγόκεντρος ή d' Alembert ;



Ο καθηγητής και ο στρουμπουλός νεαρός αιωρούνται σε έναν γεωστατικό δορυφόρο.
Τρία πρόσωπα λένε τρεις διαφορετικές ιστορίες, ως ήρωες της ταινίας «Ρασομόν» του Κουροσάβα.

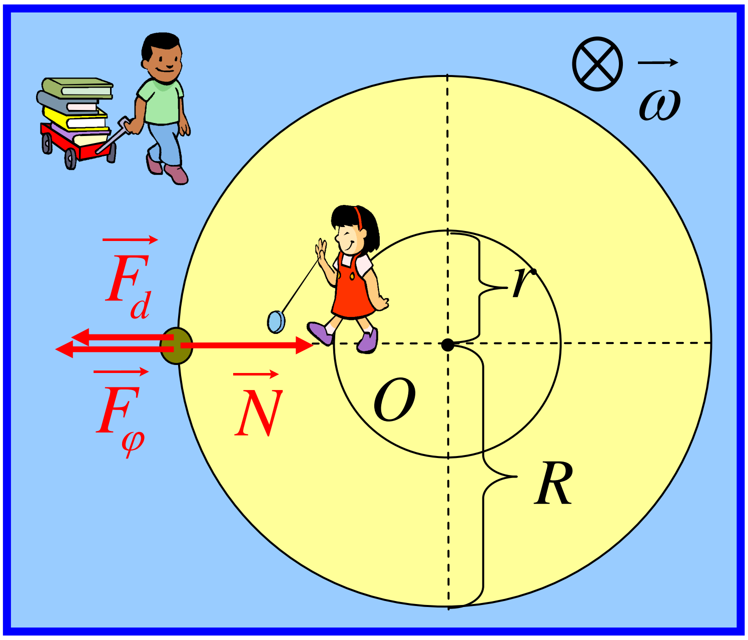
Ο αστροναύτης είναι ακίνητος παρατηρητής.
Ο καθηγητής εκτελεί με τον νεαρό μεταφορική κίνηση περί την γη.
Ο άλλος νεαρός, στον βόρειο πόλο, περιστρέφεται με την γωνιακή ταχύτητα της γης.

Ο αστροναύτης «βλέπει» μόνο την βαρυτική έλξη $\vec{w}$, την οποία θεωρεί κεντρομόλο.
Ο καθηγητής και ο νεαρός βλέπουν και την $\vec{w}$ και την $\vec{F}$.
Αποφαίνονται ότι είναι ίσες, διότι βλέπουν τον στρουμπουλό ακίνητο.
Όμως η $\vec{F}$ δεν είναι ίδιας φύσης και για τους δύο.
Για τον (μη στρεφόμενο αλλά περιφερόμενο) καθηγητή, αυτή είναι δύναμη d' Alembert.
Για τον άλλον η δύναμη είναι φυγόκεντρος.
Μη μας μπερδεύει ή όλη υπόθεση και νομίσουμε ότι η φυγόκεντρος πρέπει να κατευθύνεται προς τον νεαρό.
Αυτός «βλέπει» ένα πεδίο, κυλινδρικής συμμετρίας, με εντάσεις κάθετες στον άξονα της γης.

Αν ο μικρός μετακόμιζε στον Ισημερινό θα έβλεπε και την d' Alembert και την φυγόκεντρο.
Θα είχαν άθροισμα όμως όσο η $\vec{F}$. Το μέτρο του αθροίσματος θα ήταν πάλι όση η βαρυτική έλξη, διότι θα την εξουδετέρωναν αλληλοβοηθούμενες.

Φυγόκεντρος μαζί με d' Alembert.

Ο μύλος στρέφεται σαν το ρολόι, με σταθερή γωνιακή ταχύτητα.
Το κοριτσάκι αλλάζει προσανατολισμό.
Κοιτάζοντας συνεχώς το μπαλάκι, στρέφεται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα που περιφέρεται.

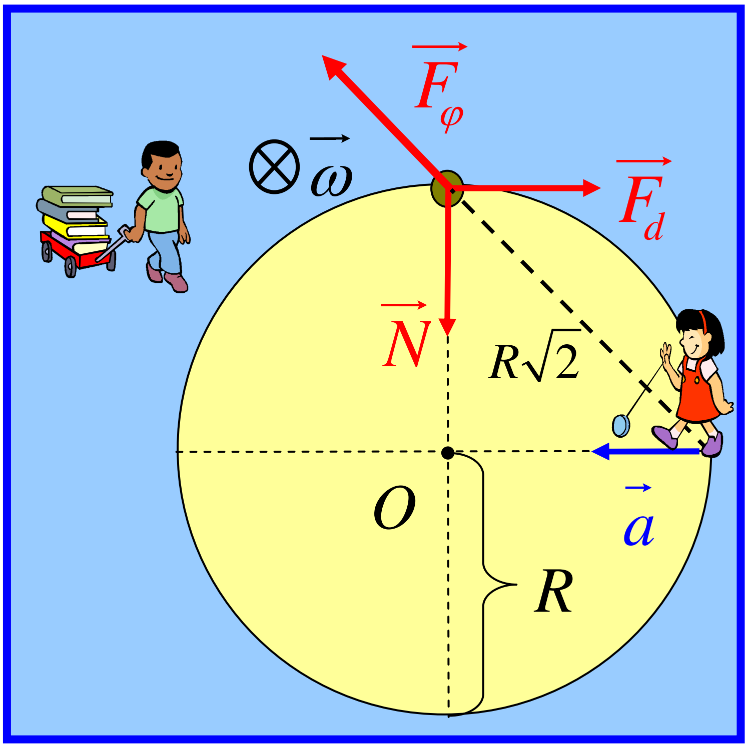


Ο νεαρός με τα βιβλία βλέπει το μπαλάκι να δέχεται την δύναμη $\vec{N}$. Την εκλαμβάνει ως κεντρομόλο και μας λέει ότι $N = m\cdot\omega^2\cdot R$.

Η μικρά βλέπει εκτός από την $\vec{N}$ την φυγόκεντρο $\vec{F_\varphi}$ και την d' Alembert $\vec{F_d}$.
Βλέπει το μπαλάκι ακίνητο και μας λέει ότι:
$N = F_\varphi + F_d$
$\Rightarrow N = m\cdot\omega^2\cdot(R-r) + m\cdot\omega^2\cdot r \Rightarrow N = m\cdot\omega^2\cdot R$

Αλλοίμονο αν διαφωνούσε με το άλλο παιδί. Θα την διέψευδε ένας αισθητήρας δύναμης.

Η d' Alembert μαζί με την φυγόκεντρο.



Ο μύλος στρέφεται σαν το ρολόι, με σταθερή γωνιακή ταχύτητα.
Το κοριτσάκι αλλάζει προσανατολισμό.
Κοιτάζοντας συνεχώς το μπαλάκι, στρέφεται πάλι με την ίδια γωνιακή ταχύτητα που περιφέρεται.

Ο νεαρός με τα βιβλία βλέπει το μπαλάκι να δέχεται την δύναμη $\vec{N}$. Την εκλαμβάνει ως κεντρομόλο και μας λέει ότι $N = m\cdot\omega^2\cdot R$.
Γι αυτόν δεν άλλαξε τίποτα από πριν.

Η μικρά βλέπει εκτός από την $\vec{N}$ την φυγόκεντρο $\vec{F_\varphi}$ και την d' Alembert $\vec{F_d}$.
Βλέπει το μπαλάκι ακίνητο και μας λέει ότι η συνισταμένη των δυνάμεων είναι μηδενική.
Οι $\vec{N}$ και $\vec{F_d}$ είναι κάθετες με συνισταμένη ίση προς $\sqrt{N^2 + F_d^2}$

Σκέφτεται επομένως ότι η φυγόκεντρος είναι αντίθετη της συνισταμένης N και d' Alembert, οπότε:

$$F_\varphi^2 = N^2 + F_d^2 \Rightarrow N^2 = F_\varphi^2 - F_d^2 \Rightarrow N^2 = \left(m\cdot\omega^2\cdot R\sqrt{2}\right)^2 - \left(m\cdot\omega^2\cdot R\right)^2 \Rightarrow N = m\cdot\omega^2\cdot R$$

Παρά την εξωφρενική της οπτική, συμφωνεί με το άλλο παιδί για την δύναμη που ασκεί στο μπαλάκι το καρφί με το οποίο καρφώσαμε το μπαλάκι στον μύλο.

Ας προσεχθεί το ότι η φυγόκεντρος εδώ δεν είναι αντίθετη της κεντρομόλου, ως συνήθως.
Συνεχίζεται...