

### Ανατρεπόμενη σβούρα

**Σκοπός:** Περιγραφή της λειτουργίας της σβούρας μελετώντας μία ιδιότυπη περιστροφική κίνηση

**Περίληψη :** Η ανατρεπόμενη σβούρα είναι ένα ιδιοπεριστρεφόμενο στερεό σώμα το οποίο ξεκινά να περιστρέφεται ως κανονική σβούρα, αλλά στην συνέχεια ο άξονας περιστροφής του μεταπίπτει κατά  $180^{\circ}$  με την περιστροφή να συνεχίζεται.

**Λέξεις κλειδιά:** Διατήρηση της ενέργειας, Τριβή ολίσθησης, Στροφορμή, Ροπή δύναμης, Δύναμη, ισορροπία, κέντρο μάζας, βαρύτητα, περιστροφή.

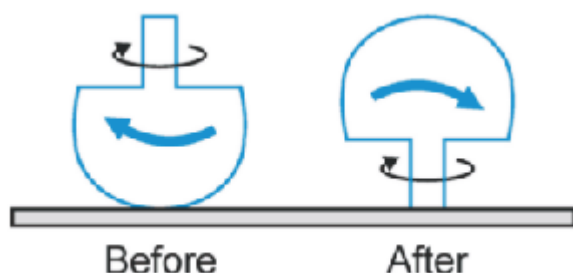
### Περιγραφή:

Η ανατρεπόμενη σβούρα αποτελείται από ένα τμήμα σφαιρικού κελύφους (μπορεί να είναι πλαστικό ή μεταλλικό) και μία κυλινδρική συμπαγή ράβδο στο εσωτερικό της.



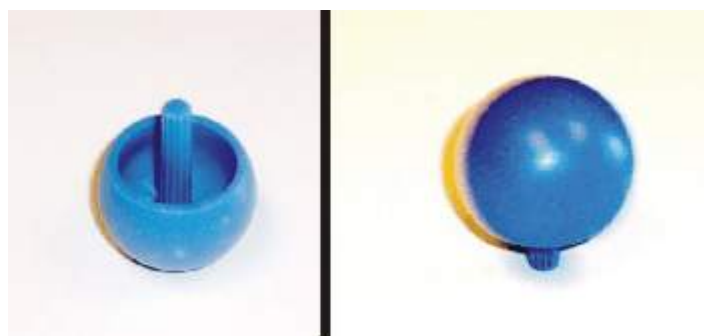
### Πλαστική ανατρεπόμενη σβούρα

Όταν η ανατρεπόμενη σβούρα ιδιοπεριστρέφεται σε ένα οριζόντιο δάπεδο με το σφαιρικό κέλυφος σε επαφή με αυτό, η σβούρα σύντομα θα γυρίσει τοποθετώντας τελικά την κυλινδρική συμπαγή ράβδο σε επαφή με το οριζόντιο δάπεδο. Όταν η ράβδος ακουμπήσει στο δάπεδο ο άξονας περιστροφής της ράβδου θα έχει μεταπέσει κατά  $180^{\circ}$  και θα ιδιοπεριστρέφεται πλέον πάνω στην κυλινδρική συμπαγή ράβδο.



**Η ανατρεπόμενη σβούρα είναι μία περιστρεφόμενη σβούρα η οποία κατά την κίνηση της μετατοπίζει το κέντρο μάζας της ενώ αλλάζει φορά περιστροφής.**

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι όταν η σβούρα αναστρέφεται αλλάζει επίσης και η φορά περιστροφής. Ταυτόχρονα το κέντρο μάζας της σβούρας μετατοπίζεται προς τα επάνω και είναι πολύ ενδιαφέρουσα η εξήγηση του φαινομένου σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της στροφορμής και την αρχή διατήρησης της ενέργειας.



**Αριστερά : Ακίνητη σβούρα Δεξιά: Η σβούρα περιστρέφεται.**

*Ιστορία:*

Η ανατρεπόμενη σβούρα έχει μελετηθεί εκτεταμένα για πολλά χρόνια. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ο Sir William Thomson και ο Hugh Blackburn πειραματίστηκαν περιστρέφοντας πέτρες σε σχήμα ελλειψοειδούς που έβρισκαν στην παραλία. Παρατήρησαν έτσι ιδιότητες παρόμοιες με αυτές της ανατρεπόμενης σβούρας με κύρια αυτής της μετάπτωσης του άξονα περιστροφής τους κατά 180<sup>ο</sup>.

Μία περιγραφή των παραπάνω βρέθηκε σε ένα βιβλίο του John Perry του 1890. Στο ίδιο βιβλίο περιγράφεται ένα μικρό σφαιρικό αντικείμενο που το κέντρο μάζας του δεν συμπίπτει με το γεωμετρικό κέντρο της σφαίρας. Όταν το αντικείμενο τοποθετείται σε τραπέζι το κέντρο μάζας του βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια του τραπεζιού, ενώ όταν ιδιοπεριστρέφεται το κέντρο μάζας του ανασηκώνεται (απομακρύνεται από την επιφάνεια του τραπεζιού) ακριβώς όπως συμβαίνει στην σβούρα.

Το 1891, η σφαίρα ταξινομήθηκε ως ευρεσιτεχνία με το όνομα "Wendekreisel" στην Γερμανία από την Helene Sperl από το Μόναχο. Η ευρεσιτεχνία ακυρώθηκε τον επόμενο χρόνο αφού δεν πληρώθηκε το ετήσιο τίμημα ανανέωσης. Έχει ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον Christian Ucke (Πολυτεχνείο Μονάχου, Γερμανία) κανένα από τα πρότυπα, που περιγράφονται στα έγγραφα της ευρεσιτεχνίας από την

Helene Sperl και κατασκευάστηκαν από τον ίδιο ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες, δεν δούλευε. Το πιθανότερο είναι η Helene Sperl να είχε κατασκευάσει την ανατρεπόμενη σβούρα αλλά να μην είχε περιγράψει αναλυτικά τον τρόπο στο κείμενο που συνόδευε την ευρεσιτεχνία της.

Σύμφωνα με το Vendsyssel Historical Museum στο Hjørring της Δανίας, η ανατρεπόμενη σβούρα επανεφευρέθηκε το 1950 από τον Δανό μηχανικό Werner Østberg που την ονόμασε Tippe Top. Συνέλαβε την ιδέα κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού του στη Νότια Αμερική όπου παρατήρησε ντόπιους κατοίκους να παίζουν περιστρέφοντας μικρά φρούτα. Είδε λοιπόν κάποια από αυτά ενώ περιστρέφονταν όπως μια απλή σβούρα με το κοτσάνι προς τα πάνω να αναποδογυρίζουν και να περιστρέφονται πάνω σε αυτό. Ο μηχανικός παρήγαγε μαζικά την ανατρεπόμενη σβούρα που πολύ γρήγορα έγινε πολύ δημοφιλής σε όλο τον κόσμο. Ο Werner Østberg κατοχύρωσε τα δικαιώματα της ευρεσιτεχνίας του σε διάφορες χώρες (π.χ στην Μεγάλη Βρετανία με αριθμό 656540).

Το 1952 ο C.M. Braams του Πανεπιστημίου Rijks της Ουτρέχτης δημοσίευσε άρθρα για την ανατρεπόμενη σβούρα, που σημειώνει ότι την ίδια περίοδο η σβούρα πωλείται και στην Ολλανδία. Σε άρθρο του Καναδού J.A. Jacobs αναφέρεται ότι η ανατρεπόμενη σβούρα αρχικά παρήχθη στη Δανία και αργότερα άρχισε η κατασκευή της και στον Καναδά όπου κάποιος μπορεί να την βρει στα παντοπωλεία στην τιμή των 0,25 δολλαρίων.

Σύμφωνα με μία ιστοσελίδα η ανατρεπόμενη σβούρα άρχισε να πωλείται στην Μεγάλη Βρετανία το 1953 από την εταιρία British Indoors Pastimes Company ενώ από το 1955 μπορούσε να την πάρει κάποιος ως δώρο με ένα κουτί ρύζι στις ΗΠΑ. Αυτό συνεχίστηκε και σε άλλες συσκευασίες με δημητριακά έως τα μέσα της δεκαετίας του 1970.



*Εικόνα του 1954 από συσκευασίες δημητριακών που περιείχαν ως δώρο τη σβούρα.  
Πηγή: Dan Goodsell of [www.theimaginaryworld.com](http://www.theimaginaryworld.com).*

Μία διάσημη φωτογραφία επίσης από τα εγκαίνια του Ινστιτούτου Φυσικής στο Lund της Σουηδίας το 1951, που απεικονίζει τους Wolfgang Pauli και Niels Bohr να παρατηρούν την κίνηση της ανατρεπόμενης σβούρας. Ο Bohr ενδιαφερόταν πολύ να εξηγήσει την κίνηση της σβούρας ενώ λέγεται ότι η ανατρεπόμενη σβούρα ήταν ένα αγαπημένο παιχνίδι του Winston Churchill.



*Φωτογραφία των Wolfgang Pauli and Niels Bohr μελετώντας την κίνηση της σβούρας. Η φωτογραφία είναι από τα εγκαίνια του Ινστιτούτου Φυσικής στο*

*Σουηδικό Πανεπιστήμιο του Lund στις 31 Μαΐου του 1951*

*Πηγή: Photograph by Erik Gustafson, courtesy AIP Emilio Segre Visual Archives, Margrethe Bohr Collection (www.aip.org/history/esva).*

Ο Νορβηγός Halvard Baugerød γράφει στο περιοδικό Fysikbasen ότι κατά την διάρκεια της επίσκεψης του το 1962 στην Σουηδία για να συναντήσει τον κατασκευαστή της συσκευής φυγοκέντρισης Alfa Laval πήρε ως δώρο μία ανατρεπόμενη σβούρα μαζί με την εξήγηση της κίνησης της.

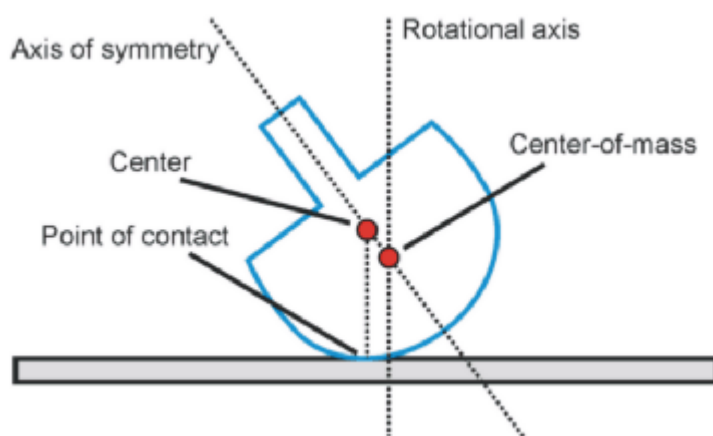
Ο Werner Østberg που πέθανε το 1999, άφησε το αρχείο του με άρθρα για την ανατρεπόμενη ράβδο κυρίως από εφημερίδες. Το αρχείο βρίσκεται σήμερα στο Vendsyssel Historical Museum της Δανίας.

*Θεωρία:*

Για να εξηγηθεί η κίνηση της ανατρεπόμενης σβούρας πρέπει να γίνει χρήση ανώτερων μαθηματικών που παρατίθενται στη βιβλιογραφία. Εδώ θα επιχηρηθεί μία σύντομη ανάλυση σε επίπεδο λυκείου.

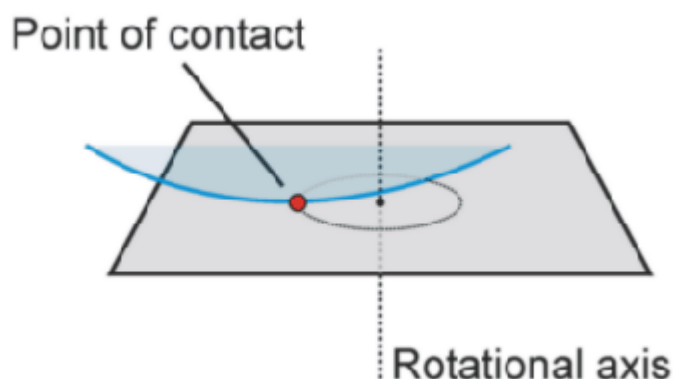
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η δημοφιλία της ανατρεπόμενης σβούρας αναπτύχθηκε μετά το 1950 και εκείνη την περίοδο δημοσιεύθηκαν αρκετά άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά με την εξήγηση της κίνησής της. Η συζήτηση είχε ξεκινήσει με το αν η τριβή ολίσθησης έπαιζε σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο. Οι περισσότεροι συγγραφείς πίστευαν ότι έπαιζε και αυτό αποδείχθηκε από τον Del Campo ως συνέπεια μίας αντιπαράθεσης: Καθώς η ανατρεπόμενη σβούρα μετατοπίζει το κέντρο μάζας της προς τα επάνω, χρειάζεται να αποκτήσει την αναγκαία βαρυτική δυναμική ενέργεια για να συμβεί αυτό και έτσι ιδιοπεριστρέφεται με μικρότερη γωνιακή ταχύτητα μετά την αναστροφή της. Έτσι συμπεραίνεται ότι το μέτρο της στροφορμής της μειώνεται μετά την αναστροφή και αυτό μπορεί να οφείλεται στην άσκηση εξωτερικής ροπής στη σβούρα. Αυτή την εξωτερική ροπή μπορεί να την ασκεί μόνο η τριβή.

Λόγω κατασκευής το κέντρο μάζας της σβούρας δεν ταυτίζεται με το γεωμετρικό κέντρο της σφαίρας. Έτσι καθώς ο άξονας περιστροφής διέρχεται από το κέντρο μάζας της σβούρας, αυτή ολισθαίνει αφού το σημείο επαφής της σβούρας με το οριζόντιο επίπεδο βρίσκεται εκτός του άξονα περιστροφής.





*Καθώς το γεωμετρικό κέντρο της σφαίρας δεν ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της σβούρας, το σημείο επαφής της σβούρας με την οριζόντια επιφάνεια δεν συμπίπτει με τον άξονα περιστροφής της.*

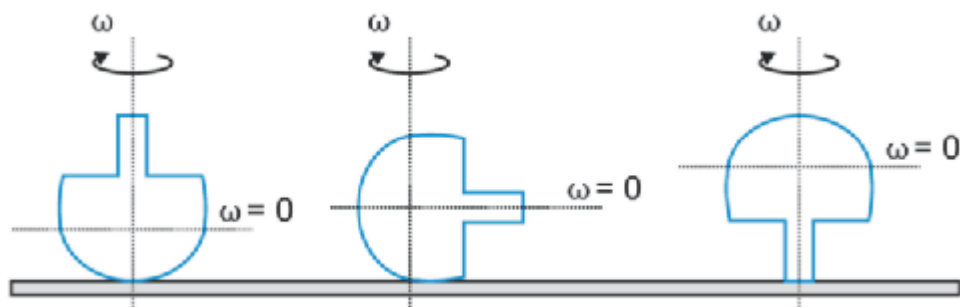


*Έτσι το σημείο επαφής ολισθαίνει σε κυκλική τροχιά με κέντρο το σημείο τομής του άξονα περιστροφής και του οριζοντίου επιπέδου. Στο σημείο επαφής λοιπόν ασκείται τριβή ολίσθησης η οποία προκαλεί ροπή ως προς το σημείο τομής του άξονα περιστροφής και του οριζοντίου επιπέδου και είναι υπεύθυνη για την ανατροπή της σβούρας.*

Έτσι το σημείο επαφής ολισθαίνει σε κυκλική τροχιά με κέντρο το σημείο τομής του άξονα περιστροφής και και του οριζοντίου επιπέδου. Στο σημείο επαφής λοιπόν ασκείται τριβή ολίσθησης η οποία προκαλεί ροπή ως προς το σημείο τομής του άξονα περιστροφής και και του οριζοντίου επιπέδου. Αυτή η ροπή είναι υπεύθυνη για την αναστροφή της κυλινδρικής συμπαγούς ράβδου έτσι ώστε τελικά να έλθει αυτή σε επαφή με το οριζόντιο δάπεδο έχοντας εκτελέσει μετάπτωση  $180^{\circ}$ . Αν η επιφάνεια πάνω στην οποία κινείται η σβούρα ήταν εντελώς λεία η σβούρα δεν θα «λειτουργούσε».

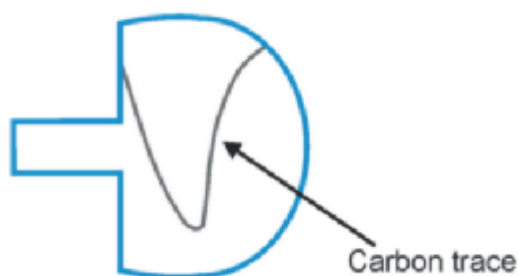
Καθώς η ράβδος ακουμπά το οριζόντιο επίπεδο η σβούρα ανασηκώνεται και ξεκινά να ιδιοπεριστρέφεται γύρω από άξονα που διέρχεται από τη ράβδο. Και αυτό οφείλεται στην ροπή που προκαλεί η τριβή ολίσθησης. Το ίδιο γεγονός συμβαίνει και σε μία απλή σβούρα όταν η αιχμηρή πλευρά της ακουμπά την επιφάνεια.

Αναφέρθηκε και παραπάνω ότι η σβούρα αλλάζει φορά περιστροφής όταν αναστρέφεται. Αυτό προφανώς συμβαίνει για να διατηρείται η στροφορμή (μετάπτωση  $180^{\circ}$  και αλλαγή φοράς περιστροφής διατηρούν την κατεύθυνση της στροφορμής). Όταν η σβούρα ξεκινά να κινείται, περιστρέφεται γύρω από άξονα περιστροφής που διέρχεται από τη ράβδο. Καθώς η ράβδος αναστρέφεται η περιστροφή συνεχίζεται γύρω από κατακόρυφο άξονα. Όταν η ράβδος διέρχεται περίπου από την οριζόντια θέση, η σβούρα σταματά να περιστρέφεται ως προς τον άξονα που διέρχεται από την ράβδο. Καθώς η ράβδος κινείται για να ακουμπήσει το οριζόντιο επίπεδο ξεκινά και πάλι η περιστροφή γύρω από άξονα περιστροφής που διέρχεται από τη ράβδο αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση.



**Άξονες περιστροφής της σβούρας. Όταν η σβούρα είναι περίπου σε οριζόντια θέση αλλάζει φορά περιστροφής γύρω από τον άξονα που διέρχεται από την ράβδο της.**

Για να αποδειχθεί ότι η σβούρα αλλάζει φορά περιστροφής ως προς άξονα που διέρχεται από την ράβδο, διεξήχθησαν πειράματα όπου η σφαίρα ιδιοπεριστρεφόταν πάνω σε επιφάνεια που ήταν καλυμμένη με καρβουνόσκονη ή σε γυάλινη επιφάνεια καλυμμένη με αιθάλη. Έτσι πάνω στην σβούρα έβλεπαν το χαρακτηριστικό ίχνος που έδειχνε πως η σβούρα άλλαζε φορά περιστροφής όταν η ράβδος βρίσκεται περίπου σε οριζόντια θέση (δημοσιευμένα άρθρα από τους Pliskin το 1954 και Johnson το 1960).



**Απεικόνιση του ίχνους από καρβουνόσκονη πάνω στην σβούρα.**

#### **Βιβλιογραφία-Πηγές-Παραπομπές :**

- ▶ [Quick Time video of a tippe top \(1.79 MB\).](#)
- ▶ [Link to demonstration in database at University of Iowa.](#)
- ▶ [Link to demonstration in database at Brown University.](#)
- ▶ J. Perry: "Spinning Tops", Society for promoting Christian knowledge (1890).
- ▶ Helene Sperl: "[Patentschrift Nr. 63261: Wendekreisel](#)", [Kaiserliches Patentamt Berlin \(patented on October 7 1891, expired on July 12 1892\).](#)
- ▶ [The patent of Werner Østberg.](#)
- ▶ J.A. Jacobs: "Note on the Behavior of a Certain Symmetrical Top", Am. J. Phys. **20**, 517 (1952).
- ▶ J.L. Synge: "On a case of instability produced by rotation", Phil. Mag. **43**, 724 (1952). (Theoretical analysis. Synge does not believe that friction is important. He is later convinced by other articles.)
- ▶ C.M. Braams: "The Symmetrical Spherical Top", Nature **170**, 31 (1952). (Brief theoretical analysis of the Tippe Top.)
- ▶ G.N. Copley: "The Symmetrical Spherical Top", Nature **170**, 169 (1952). (Historical

remarks to Braams' Nature article.)

- ▶ C.M. Braams: "*On the Influence of Friction on the Motion of a Top*", *Physica* **18**, 503 (1952). (Theoretical analysis on why friction is important.)
- ▶ N.M. Hugenholtz: "*On Tops Rising by Friction*", *Physica* **18**, 515 (1952). (Theoretical analysis quite similar to that of Braams.)
- ▶ C.M. Braams: "*The Tippe Top*", *Am. J. Phys.* **22**, 568 (1954).
- ▶ W.A. Pliskin: "*The Tippe Top (Topsy-Turvy Top)*", *Am. J. Phys.* **22**, 28 (1954). (analysis on why friction is important. Experiments with carbon paper.)
- ▶ A.R. Del Campo: "*Tippe Top (Topsy-Turnee Top) Continued*", *Am. J. Phys.* **23**, 544 (1955). (Simple argument as to why sliding friction is important.)
- ▶ I.M. Freeman: "*The Tippe Top Again*", *Am. J. Phys.* **24**, 178 (1956). (Follow-up on Del Campo's article.)
- ▶ D.G. Parkyn: "*The Rising of Tops with Rounded Pegs*", *Physica* **24**, 313 (1958). (Why a top rises, when the stem hits the surface. Does not mention Tippe Tops.)
- ▶ J.B. Hart: "*Angular Momentum and Tippe Top*", *Am. J. Phys.* **27**, 189 (1959).
- ▶ F.F. Johnson: "*The Tippy Top*", *Am. J. Phys.* **28**, 406 (1960). (A Tippe Top is spun a on piece of sooted glas. The trace on the top shows how the rotation changed direction.)
- ▶ V. Güntelberg: "*Snurren*", *Nordisk Matematisk Tidsskrift* **13**, 15 (1965). (General article on spinning tops with appendix on the Tippe Top.)
- ▶ J.C. Lauffenburger: "*A Large-Scale Demonstration of the Tippe-Top*", *Am. J. Phys.* **40**, 1338 (1972). (Suggesting to use american footballs for presentations to large audiences. Works just like Tippe Tops.)
- ▶ R.J. Cohen: "*The Tippe Top Revisited*", *Am. J. Phys.* **45**, 12 (1977). (Historical introduction followed by a very thorough mathematical analysis and computer simulations.)
- ▶ K.W. Ford: "*Why does a finger ring flip*", *The Physics Teacher* **16**, 322 (1978). (Very brief historical overview on Tippe Top articles.)
- ▶ J. Walker: "*The Mysterious 'Rattleback': A Stone That Spins in One Direction and Then Reverses*", *Scientific American* **241**, 144 (October 1979). (Article on rattleback stones. Also mentions the Tippe Top.)
- ▶ J. Walker: "*The Physics of Spinning Tops, Including Some Far-Out Ones*", *Scientific American* **244**, 134 (March 1981). (General article on spinning tops. Also mentions the Tippe Top.)
- ▶ H. Leutwyler: "*Why some tops tip*", *Eur. J. Phys.* **15**, 59 (1994). (Mathematical analysis based on conservation laws.)
- ▶ A.C. Or: "*The dynamics of a tippe top*", *SIAM J. Appl. Math.* **54**, 597 (1994). (Thorough historical and mathematical analysis of the Tippe Top.)
- ▶ S. Ebenfeld and F. Scheck: "*A new analysis of the tippe top: Asymptotic states and Liapunov stability*", *Annals of Physics* **243**, 195 (1995). (Thorough mathematical analysis of the Tippe Top.)
- ▶ N.M. Bou-Rabee, J.E. Marsden, and L.A. Romero: "*Tippe top inversion as a dissipation-induced instability*", *SIAM J. Appl. Dyn. Sys.* **3**, 352 (2004). (Thorough mathematical analysis of the Tippe Top.)
- ▶ Danish newspaper articles: *Politiken* (7/3 1952), Feature: "*Will the Earth invert like a Tippe Top?*". *Nationaltidende* (13/3 1951): "*The Tippe Top enigma*". *Politiken* (1/6



1951): "*Niels Bohr showed the king of Sweden Tippe Top game*". Kristelig Dagblad  
(1/6 1951): "*The spinning top of Niels Bohrs promoted in Lund*". Berlingske Tidende  
(17/11 1951): "*The Tippe top mystery solved*".

▶ [Patent from 1948 by Oscar Hummel.](#)

▶ [Patent from 1949 by Oscar Hummel.](#)