

OPEN

Topological Switching and Orbiting Dynamics of Colloidal Spheres Dressed with Chiral Nematic Solitons

T. P. n¹, S. C^{1,2,3}, P. J. A m^{4,5}, M. B. P n⁴, M. C. M. V n⁴, I. I. Sm^{4,5,6,7}
& S. Z^{1,2}

¹Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, Jadranska 19, 1000 Ljubljana, Slovenia, ²J. Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia, ³Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, 209 South 33rd Street, Philadelphia, Pennsylvania 19104, USA, ⁴Department of Physics, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA, ⁵Department of Electrical, Computer, and Energy Engineering, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA, ⁶Liquid Crystal Materials Research Center and Materials Science and Engineering Program, University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA, ⁷Renewable and Sustainable Energy Institute, National Renewable Energy Laboratory and University of Colorado, Boulder, CO 80309, USA.

Metastable configurations formed by defects, inclusions, elastic deformations and topological solitons in liquid crystals are a promising choice for building photonic crystals and metamaterials with a potential for new optical applications. Local optical modification of the director or introduction of colloidal inclusions into a moderately chiral nematic liquid crystal confined to a homeotropic cell creates localized multistable chiral solitons. Here we induce solitons that “dress” the dispersed spherical particles treated for tangential degenerate boundary conditions, and perform controlled switching of their state using focused optical beams. Two optically switchable distinct metastable states, toron and hopfion, bound to colloidal spheres into structures with different topological charges are investigated. Their structures are examined using Q-tensor based numerical simulations and compared to the profiles reconstructed from the experiments. A topological explanation of observed multistability is constructed.

S f a e e f d a e a e a e c f a b y, c a a b e f e f a e b y a d e f e a . S e e e e c f e d, c a a a a d e e e a e a b e f f c e c e a c e f a c a d c e f a e a . W e f b c a y e a e a d e b e a a b e c e y a d e a y, a f c a f a e a e e, b a d y e, f e d, c e a c e y f e a e a, e a b y f c c a a e b y, a d e a d e f e c c a a c a . L d c y a a d e c e a e, d e e c a a y a d c y f e e c c a a d c a a a^{1,3}, a c c c e f c e a c d e, c e⁴, c a d a e e e^{5,8} a d c e^{9,13}. C f a e a b e a e a c a b e e a b y c e d a e a b a f c e c a - a d e d a d e, c e, c a c e a d e e a e y e f f e c^{14,15}. T c a d e f e c, a d c e d a c e c a e a e y b e e e a c e d

e c - e a y d c b e e e d a e c a y e d e c (e a d e e c), f e a d e - e c a y a b e d e f e c, e e c a y e b d a y c d d a a d e f e c - f e e a e^{19,23}. I a c e e c d c y a, e d e c f e d e f e e c a y a a c e a d e c c a e d e e c a a . I a c e e c a c a b d a e, e e c a c e d e d b y b d a y c d a e f e a e e d e c f e d. W e e c e e c c c a a b e e c e c e, e b a a f a e d e e e e e c e d c a e c a c a b e c e a e d a d e a e d b y a a f c e d a e b e a²⁴ a d a e e a e e c f e d²⁵. T e d e d c e y f c a²⁶ a d f (H f f b a²⁴ a d a e e a e e c f e d²⁷ c, c e c e a d, b e a e a a - a c e a a e a b e a e b a . I a c a d d e a e y e d e a c, a c e a c e a f a c e e a e a e “d e e d” b y a e a e y a e f e a c d c a y e e d b a d a d e d e f e c . U e e e c y c c a d e d e f e c, a d a e a d a d f f a e d c e e c c c a c a e e c a e, e b y e c e e c c . T e a e c a y a b e e d e e a e e f e e e e a c e e, e c e c

e c y f e a e . W e a b e a e d a e
e e b f a e e c a a e a a e d c e f c a d-
, c f a c e f e e c a e a y f -
e c a e a f c d a a c e . T e a
e a e y f a c e - b d a e e e .
I , e e e e c e a d a a f -
c a c e d c d a c e e a e -
c c a e a c c e a a b f c e e c c f e d b e e e
a a e f a c e - e a e d a a e . I a a e f c e e
e b c e e c c a e ~ 0.8 0.95 a d c e e
d a e e ~ 0.7 f e c e , e d e f c e a c f e d
c f a a a e a b e d b e e d ' c a y a d f
y b d c e e c e e . W a a c a
c c y (POM) e e , e d e a e c a c

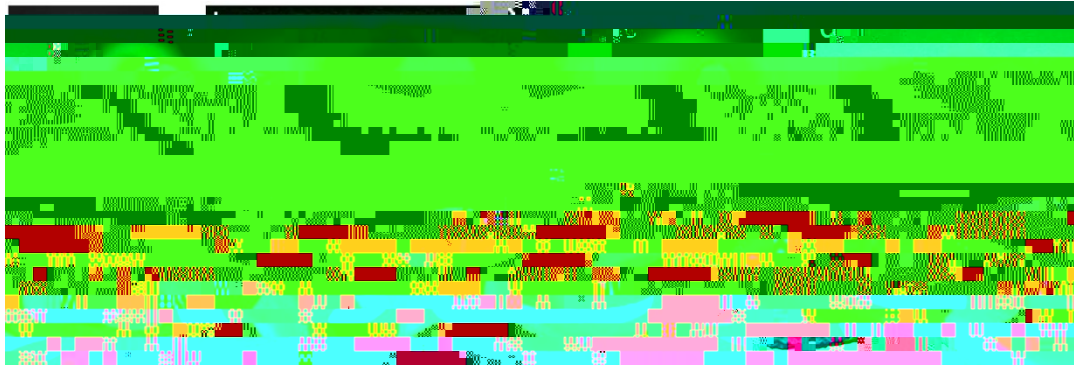


Figure 2 | Metastable twisted textures around colloidal particles with degenerate planar surface anchoring. (a), (b), (e), (f): A structure, recognized as a

A a ce a a de e e a e a c b e f e e b a e d e c - a e e a c e face ead f
 e e ce f face defec , c a fe a b a e e a e e da . T e c e F . 3 a a e a
 f e a c e²¹. B b e d c e e a d ca y - defec b a d e e b e e c e e f e
 e y b a e e , b b e a e c a y e y defec e a c e d b a e c a a c e . F e face f

eb e, ed ec a e a π - - a e. I d ec a . I e f c e, ed ec
 c a , e c e F .3b d e a e a y b defec a d bac a d f acc dae e a d e a c e, b
 e e b e e f c ^{e27}. T e d ec y e a a e e f e (e , a c a) a d
 a c e face, a a e a a e, a d a e ca c a e add a defec e ed
 d ed, b ca y e a e e c e e ec ed (F .3b). T e c e (F .3a) a e a d e e f e
 ac a e a c (F .3c). ca c a e = ± 1 , c e a e add a y e b c
 T e d f f e e c e e b e f defec eb e ed e e b .
 e a c e b ca e a d f f e e c a e e e U e a a c a e a c, e e d e d b e c a e d
 c e, c d e e a c d e e e y f a d e a c e, e d e f a f e d e c f e d e e d
 e e e . R e P ca e e e ^{33,34}, d ec f e d a y e e e a a d a e e a a f e a c e. F e e e ,
 d e e e a e a a a c ca e face b - e c a c c d e a e e e c e f a a c e d e e e a e
 a d a f f e d b y a a f b d b e b d e a e e e y f e e ca a e .
 f + 1 a e e . T e c da a c e e e b b
 ca b e a e d a ca c a e a a e d ec
 c e y dec a e d a b a a e e c f e d .
 F a a ced e e ca a a y f e c a
 d e Ref. 33, e c e face f e a y a
 c c a a c e a d e b , e a c c b $\pm 1/2$ e
 e e f e ca c a e, a d e e f e face
 a a c b . N e a e e a a f e -
 ca c a e b e f f , y e f a e e e
 ca y e e a . T e f e b ' c b
 f e d e c a d a e f e b a d
 ce - e a . T e d e e e f f e e d a d e e e e e a f f
 e b e - a e a f e d e c c a
 a a e (a d e), c c a a a y e e b e f π -
 . Z e c e d e a c e a a a d e e e a e
 a c a a c a e a c, c a e a e
 ca c a e, = 0 (F .3c). W a c e a b e f
 , e ca c a e f e e y e c a c e a e -
 a e b e e = ± 1 a d = 0 (F .3d, e). T e b e f
 e a y d e e e d b y c e a d e e e d e c
 a a (e a - e) d e c , a acc e e e f

ed ec a . I e f c e, ed ec
 bac a d f acc dae e a d e a c e, b
 a a e e f e (e , a c a) a d
 a e ca c a e add a defec e ed
 (F .3b). T e c e (F .3a) a e a d e e f e
 ca c a e = ± 1 , c e a e add a y e b c
 ed e e b .
 U e a a c a e a c, e e d e d b e c a e d
 a d e a c e, e d e f a f e d e c f e d e e d
 e a a d a e e a a f e a c e. F e e e ,
 e c a c c d e a e e e c e f a a c e d e e e a e
 a a a c b d a d a b e e f e ,
 b d e a e e e y f e e ca a e .

e e f e a ce(F .5c).T eb e ed ec (F .6). T b a e a e e e a e a
f ece a f ed be § de, c a a e
a c f e e a a a a e y e e f e d a e a
e c e e e f e .D e e c c f e a c e
e d ed , a f e a c e d c e a-
f e b a d c e e y , f e a c e
e d b e § de.
T e SPMB a f c a y c - c a e d e d b e
§ d e f a , c c a b e a a b e e a a b e f
c a a c e e e c a f , d e e d e
e a e f e a c e e e c e e f e . A
105 G a e c f e d a a 0.125 H a a e d e y
a e a e e SPMB³⁶, c e c e d a f a c e e a c-
e c a d e c d c e a -c a e d “ b a ”

e e e ee b f eSPMB e be
 aced b e a a e c f e d. Pe d c c a f e
 b a ad d a a e e de . T e a e a e a a e -
 c y f e e CW₁ a ed ef e -57 de / , f CW₂
 45 de / , a d f CW₃ -53 de / . T e d e e d e c e f e b a
 a e . e d c a e a y e y b a a a e c y a d
 a e e d d e e d e f e d a d e c .

Discussion

O a ce- ab ed add e e f a ab e bec
 f a e d c e e c d c y a . C ed c e a a d
 a a f a e a defec ab ab e ce ; a d e ab e
 e y d a d e y de , ce . T e c a y f e ed
 c e ab y e e ac e c e e ca
 c a e f e a ce , f e a ce e c a ab e e c .
 S a e a ce a e a aced defec a d ace e a c
 def a a d ec a c e , bec ec f ed b
 e d be- . T e e ca ac a “ b e”
 c a e e eed f d c f face . A
 e a ce a d a - a ce e ac e ed
 e e b e f e f a e b y a d a eed a e b y f
 e - c e ca a ca . T e a ce c b e

26. S a y , I. I., La ac, Y., Ca , N. A. & T ed, R. P. T ee-d e a c e a d a b e c a c f e a a c e a c f d . *Nat. Mater.* **9**, 139 (2010).

27. C e , B. G.-., A c e a , P. J., A e a d e , G. P., Ka e , R. D. & S a y , I. I. G e e a e H f f b a e e e a y e a c d c y a . *Phys. Rev. Lett.* **110**, 237801 (2013).

28. P a d e , M. B. et al. S e f a e b y f y - e e d c a e a c c d a e a a c . *Phys. Rev. E* **89**, 060502 (2014).

29. W , D. C. & M e , N. D. C y a e d : e b e a e . *Rev. Mod. Phys.* **61**, 385 (1989).

30. R a y , M. et al. E a e d e a c c d a d e a d e . *Phys. Rev. Lett.* **99**, 247801 (2007).

31. R a y , M. & Z e , S. N e a c c d e a e d l y c a d e f e c . *Soft Matter* **5**, 269274 (2009).

32. C a , S., P e a , T. & Z e , S. V a a e d f c e e a c f e d . *Liq. Cryst.* **40**, 1759 (2013).

33. L a e c , O. D. T c a d e f e c d e e d d c y a , d a d d a d d c y a d e . *Liq. Cryst.* **24**, 117 (1998).

34. V , G. E. & L a e c , O. D. T c a d a c f d e f e c : b e a c d . *Sov. Phys. JETP* **58**, 1159 (1984).

35. L e e , T., T ed, R. P. & S a y , I. I. M d a e a c a a c c y f - a e e c a d e d c y a . *Opt. Lett.* **35**, 3447-3449 (2010).

36. V a e , M. C. M., J e e , N. J. & S a y , I. I. G e e c a y e c e d c a y c a e d c f d c y a d e f e c a e c a e c a d a c c a a a . *Phys. Rev. E* **89**, 022505 (2014).

37. C a d a e a , S. *Liquid Crystals, Ca b d e U e y P e , Ca b d e*, (1992).

38. F e , J.-B. & G a a , P. M d e a a d e e e a e e a d a c e a c d c y a . *EPL* **72**, 403 (2005).

Acknowledgments

We a T. Lee, B. Se y , a d J. a d e L a e a a f d c . T e e a c a e d l y e U. S. D e a e f E e y , O f f c e f B a c E e y S c e c e , d e A a d E R 4 6 9 2 1 (P . J . A . , M . C . , M . C . V . , M . P . , I . I . S .) . T . P . , S . C . a d S . Z . a c e d e f e S e a R e e a c A e e e 7.4717238001806J e e 5.349570.5(c a f e c)-229.100006P1-850(29.)1208.