

Ferokapalinová zrcadla

Nahrazení pevných materiálů tekutinou přináší značné výhody při konstrukci velkého zrcadla. Patří mezi ně nižší pořizovací cena, snadné dosažení velké plochy a absence defektů typických pro zrcadla klasická. Tekutinová zrcadla však nemohou být natáčena – zrcadlo směřuje vždy do zenitu. První generace tekutinových zrcadel stavěných na přelomu 20. a 21. století používala rtuť, jejíž povrch byl do parabolického tvaru formován rotací. Největšího průměru, šesti metrů, dosáhl dalekohled LZT (Large Zenith Telescope) v Kanadě. Nezanedbatelným faktorem omezujícím použitelnost prvních tekutinových zrcadel byla absence adaptivní optiky.

První deformovatelná rtuťová zrcadla

Za druhou generaci tekutinových zrcadel, která spatřila světlo světa v roce 1994, vděčíme R. Ragazzonimu a E. Marchettimu. Italští vědci nechali procházet elektrický proud tekutou rtuť a její povrch deformovali cívkami generovaným magnetickým polem. Jejich první experimenty spočívaly v deformování zrcadla jako celku. Testovaný princip je však možno použít i pro rychlé lokální deformace povrchu zrcadla, které budou fungovat jako systém aktivní a adaptivní optiky. Pro adaptivní optiku je důležitá schopnost zrcadla rychle kompenzovat turbulence atmosféry, které mění tvar vlnoploch přicházejícího světla. U standardních zrcadel se odpovídajícím způsobem deformuje až sekundární nebo dokonce terciální zrcadlo, u tekutinových je možné deformovat přímo zrcadlo primární.

Ferokapaliny

V případě rtuťových zrcadel je velkou komplikací pro implementaci adaptivní optiky vysoká hustota tekutiny. K dostatečné deformaci je potřeba velkých proudů. Řešením je v tomto případě nahrazení rtuť ferokapalinou – suspenzí nanočástic. Nanočástice mají průměr obvykle menší než 10 nm, jsou vyrobeny z magnetitu nebo jiného feromagnetika a rozptýleny v nosné kapalině. Feromagnetika obsahují při nízkých teplotách tzv. Weissovy domény, což způsobuje, že nanočástice mají vlastní magnetický moment. Ve výsledku tedy tvoří soustavu miniaturních magnetů, díky čemuž je ferokapalina schopna reagovat na magnetické pole. Mezi feromagnetickými nanočásticemi působí i van



Ferokapalina v magnetickém poli. Sachiko Kodama.

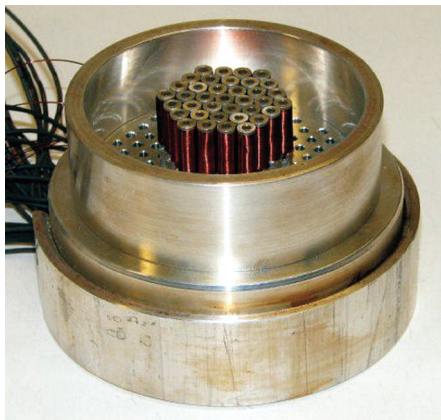
Feromagnetikum – materiál, ve kterém je energeticky výhodné, aby sousední magnetické momenty měly shodný směr. Tyto látky, například železo, jsou schopné značné magnetizace ve vnějším magnetickém poli. Po odstranění magnetického pole si ponechávají tzv. permanentní magnetizaci, tj. zůstávají zmagnetizované i bez vnějšího magnetického pole. Typickým příkladem je krystalické železo, kobalt či oxid chrómu CrO_2 .

Aktivní optika – způsob korekce nízkofrekvenčních (0,03 Hz a nižších) deformací primárního zrcadla. Poprvé byl systém aktivní optiky vyvinut a použit pro dalekohled NTT (New Technology Telescope) o průměru 3,5 metru, který patří ESO a je umístěn na hoře La Silla. Aktivní optika by měla eliminovat především tyto jevy: stálé výrobní vady, tepelné deformace způsobené teplotním gradientem, kompenzace vlastního průhybu zrcadla způsobeného gravitací, kompenzace nízkofrekvenční složky deformace zrcadla způsobené větrem a změny způsobené přechodem mezi Nasmythovým a Cassegrainovým ohniskem.

Adaptivní optika – slouží ke korekci vysoko-frekvenčních změn obrazu způsobených zejména turbulencí atmosféry (až 500 korekcí za sekundu). Korekce se provádí počítačem řízenými posuny a deformacemi pomocných zrcátek. K vyhodnocení aktuálního tvaru vlnoplochy slouží referenční hvězda, která se musí nacházet v blízkosti pozorovaného objektu. Asi v 1% případů lze využít přirozenou hvězdu (NGS – Natural Guide Star). Většinou se používá umělá hvězda (LGS – Laser Guide Star), která se vytváří laserovým paprskem fokusovaným do výšky přibližně 90 km, kde zpětným rozptylem vzniká skvrna zářících sodíkových atomů. Druhou možností je využití Rayleighovy difúze ve výškách 10 až 20 km. Umělou hvězdu můžeme vytvořit jakkoli blízko sledovanému objektu, vyvstávají ale problémy spojené s její konečnou výškou a velikostí.

LZT – Large Zenith Telescope, šestimetrový rtuťový dalekohled umístěný v Kanadě 30 km od Vancouveru. Dalekohled byl uveden do provozu v roce 2004, na stavbě se podílela Univerzita of British Columbia, Lavalova univerzita a Institut d'Astrophysique de Paris.

Aktivní podložka zrcadla s 37 cívkami, které deformují povrch ferokapaliny. Denis Brousseau, Laval University.



der Waalovy síly, jež způsobují nežádoucí shlukování, které je možné omezit potažením nanočástic vrstvou polymerů. Ferokapaliny však trpí pro astronomy jednou podstatnou vadou, a to nízkou odrazivostí. Řešení spočívá v pokrytí povrchu ferokapaliny jinou koloidní kapalinou s vysokou odrazivostí, tzv. vrstvou MeLLF (Metal Liquid-Like Film). Tyto kapaliny bohužel nejsou slučitelné s většinou komerčně vyráběných ferokapalin.

První ferokapalinové zrcadlo

Miniaturní prototyp výše popsaného typu zrcadla s adaptivní optikou byl sestaven v Kanadě na půdě Lavalovy univerzity. Výzkumný tým kladl důraz na nízkou cenu experimentu. Aktivní podložka zrcadla v sobě měla 37 hexagonálně rozmístěných magnetických cívek. Každá měděná cívka s 200 závitů obsahovala malé feritové jádro, díky čemuž její spotřeba proudu poklesla na méně než 200 mA. Průměr pokusných cívek byl 5 mm a do budoucna ho bude potřeba snížit na 1 mm. Na podložném zařízení spočívala hliníková nádoba naplněná jeden milimetr silnou vrstvou ferokapaliny. V tomto případě se jednalo o ferokapalinu EFH1 o hustotě 1 210 kg/m³ a relativní permeabilitě 2,7, jejíž nosnou kapalinou je olej. Zrcadlo nebylo pokryto odrazivou vrstvou MeLLF, neboť její implementace nebyla prioritou experimentu. Ukázalo se, že povrch zrcadla je možné deformovat s frekvencí několika set oprav povrchu plochy za sekundu, což je dostatečné pro systém adaptivní optiky. Vědci doufají, že v příštích letech bude možné korigovat i změny s frekvencí až 500 Hz. Původní představy, že povrch kapaliny může reagovat jen na změny o frekvenci maximálně 20 Hz, se tedy nepotvrdily. Vědecký tým zkoušel reakce systému na vložení skleněných předmětů do dráhy paprsků a úprava povrchu zrcadla byla dostatečně rychlá. Experiment navíc prokázal, že amplituda deformace závisí nelineárně na magnetickém poli a chování magnetického pole neumožňuje použít standardní metody k předpovídání chování povrchu zrcadla. Přes všechny momentální nedostatky se deformovatelná ferokapalinová zrcadla zdají být velkým příslibem budoucí astronomie.

■ Zuzana Vidláková, 26. 9. 2008, AB 40/2008