Bestimmung der Rotationsperiode des gefährlichen Kleinplaneten 2018 AM12

ferngesteuert mit dem Schmidt Teleskop des Calar Alto Observatoriums in Spanien

Erwin Schwab

Zur Teilnahme am Wettbewerb des Soemmerring–Astronomiepreises

des Physikalischen Vereins, Frankfurt am Main

Eingereicht am 31. Juli 2018

*In Zusammenarbeit mit der European Space Agency (ESA) hatte der Autor die Möglichkeit an einem professionellen Teleskop ferngesteuert zu beobachten, dem ehemaligen Hamburger-Schmidt-Teleskop, das sich seit 1975 auf dem Calar Alto in Spanien befindet. Für einen Amateur-Astronomen ist dies eine sehr seltene und ehrenvolle Herausforderung. Neben vielen Nachfolgebeobachtungen zur Verbesserung der Orbits erdnaher Klein-planeten (b.z.w Asteroiden) gelangen dem Autor an diesem Teleskop auch die Wieder-entdeckungen von mehreren gefährlichen Kleinplaneten und Kometen, sowie die Bestimmung der Rotationsperiode eines gefährlichen Kleinplaneten. Auf letzteres wird in der vorliegenden Arbeit näher eingegangen. Auf der Grundlage einer photometrisch gemessenen Rotationslichtkurve wurde der Wert von 12,636 ±0,078 Minuten für die synodische Rotationsperiode des gefährlichen Kleinplaneten 2018 AM12 ermittelt und das Resultat im **Minor Planet Bulletin** veröffentlicht. Mit dieser Periode gehört das Objekt zu den ungewöhnlich schnell rotierenden Kleinplaneten. Durch Abschätzung der Größe wurde zudem deutlich, dass sich 2018 AM12 jenseits der sogenannten Spin-Barriere befindet. Bis auf sehr wenige Ausnahmen haben Kleinplaneten, die größer als ~200 Meter sind, Rotationsperioden länger als ~2 Stunden. Der Autor kommt deshalb zu der Schluss-folgerung, dass es sich hierbei um einen Kleinplaneten handelt, der eine ungewöhnlich feste monolithische Struktur haben muss, sonst wäre dieser Himmelskörper längst durch die Fliehkräfte zerrissen worden.*

Erwin Schwab, Westendstr. 8, 63329 Egelsbach, e.schwab@gsi.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation 3

Wiederinbetriebnahme des Hamburger-Schmidt-Teleskops auf dem Calar Alto Observatorium, Spanien 4

Messung der Rotationslichtkurve des 2018 AM12 6

Ermittlung der Rotationsperiode des 2018 AM12 8

Abschätzung der Größe des 2018 AM12 10

Handelt es sich bei 2018 AM12 um einen außergewöhnlich schnell rotierenden Kleinplaneten? 12

Danksagung 12

Ergänzung nach bereits eingereichter Arbeit:
Kräfteverhältnis auf der Planetenoberfläche 13

Anhang 14

- Tabelle der Datenpunkte, Photometrie zur Lichtkurve des 2018 AM12 14
- Berechnung der Lichtlaufzeitkorrektur 14
- Darstellung der halben und doppelten Rotationsperiode 15
- Veröffentlichung im Minor Planet Bulletin 16
- Tabelle der größten schnell rotierenden Asteroiden 17
- Herleitung der Formel für das Verhältnis von Gewichtskraft und Zentrifugalkraft auf der Oberfläche eines Planeten 18

Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation

Im Jahre 2012 bin ich an Detlef Koschny, Leiter des Segments für Erdnahe Objekte, der European Space Agency (ESA) herangetreten, mit dem Vorschlag zu Versuchen einen gefährlichen Kleinplaneten an einem ESA-Teleskop wiederzuentdecken. Es handelte sich um 2009 DM45, der am Taunus Observatorium des Physikalischen Vereins unter Mitwirkung des Autors entdeckt wurde. Die Opposition in 2012 sah vielversprechend aus für eine Suche. Eine Wiederentdeckung ist von ganz besonderer Bedeutung, denn sie steigert die Genauigkeit des zu berechnenden Orbits enorm, nicht selten um mehrere Größenordnungen, und verbessert damit signifikant die Vorhersagbarkeit einer möglichen Gefährdung der Erde.

Detlef Koschny ernannte mich zum ehrenamtlichen Mitglied seines Teams der ESA Optical Ground Station (ESA OGS) mit dem Angebot, dass ich der Verantwortliche werde für die Wiederentdeckungen von gefährlichen erdnahen Kleinplaneten. Bisher war diese Aufgabe unbesetzt. Diese Zuständigkeit beinhaltet die Vorbereitung und Auswertung von Wiederentdeckungs-Kampagnen für das 1m-Ritchey-Chrétien-Teleskop der ESA OGS auf Teneriffa. Da dieses Teleskop nicht fernsteuerbar ist, werden meine Beobachtungs-vorschläge per Email an das Teleskop-Bedienpersonal vor Ort (Pablo Ruiz und David Abreu) gesendet, welche die Koordinaten von Hand einstellen und die fertigen Bilder zur Auswertung auf einem Server zur Verfügung stellen.

Leider blieb die erste Wiederentdeckungs-Kampagne, die Suche nach 2009 DM45, erfolglos. Aber die nächste Kampagne, die Wiederentdeckung des gefährlichen Kleinplaneten 2008 SE85 war ein spektakulärer Volltreffer und schaffte es als Schlagzeile in Form einer Pressemitteilung auf die ESA-Internetseite: LOST ASTEROID REDISCOVERED WITH A LITTLE HELP FROM ESA [1]. Und kurze Zeit später gab es einen weiteren Erfolg zu melden: ANOTHER RECOVERY - 2009 XZ1 FOUND AGAIN [2].

Seitdem wurden bis August 2017 mittels diesem Teleskop unter meiner Zuständigkeit über 90 Near Earth Objects (NEOs) und 9 Kometen wiederentdeckt.

[1] ESA Press Release (2012), Asteroid rediscovered with a little help from ESA, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness/Lost_asteroid_rediscovered_with_a_little_help_from_ESA
[2] ESA Press Release (2012), Another recovery - 2009 XZ1 found again

Wiederinbetriebnahme des Hamburger-Schmidt-Teleskops auf dem Calar Alto Observatorium, Spanien.

Das Große Hamburger-Schmidt-Teleskop wurde von 1954 bis 1975 auf der Sternwarte Hamburg-Bergedorf betrieben. Eines der besonderen Ereignisse aus dieser Zeit war wohl die Entdeckung eines Kometen durch den tschechischen Astronomen Luboš Kohoutek am 7.März 1973. Im Juni 1975 wurde das Fernrohr demontiert und nach Spanien auf den Calar Alto verlegt, wo es eine neue Montierung von Grubb-Parson bekam. Am neuen Standort wurde im Zeitraum von 1985 bis1997 der Hamburger-Quasar-Survey durchgeführt[3].

Ich selbst war im Januar 2001 auf dem Calar Alto und hatte das Vergnügen bei einer Führung das ehemalige Hamburger-Schmidt-Teleskop mit einem Hauptspiegel-Durchmesser von 1,2 Meter und einem Durchmesser der Schmidt-Korrekturplatte von 0,8 Meter zu bewundern. Allerdings machte das Fernrohr zu diesem Zeitpunkt einen etwas vernachlässigten Eindruck. Das historische Gerät wurde schon eine Weile nicht mehr genutzt, da es kein Fotomaterial mehr zu kaufen gab – das Zelluloid-Zeitalter näherte sich seinem Ende. Bei der Führung hieß es: "Vielleicht kommen ja mal wieder bessere Zeiten auf das Fernrohr zu..."

Rund 15 Jahre später traf ich Detlef Koschny, Leiter des ESA-Segments für Erdnahe Objekte, bei einer Tagung der Kleinplanetenfachgruppe der Vereinigung der Sternfreunde (VdS). Er fragte mich, ob ich Lust hätte mit einem professionellen Teleskop ferngesteuert zu beobachten. Spontan sagte ich: "Auf jeden Fall, wann kann ich los legen?" Mein Herz schlug heftiger, als ich erfuhr, dass es sich bei dem Fernrohr, das ich bald aus der Ferne steuern durfte, um das ehemalige Hamburger-Schmidt-Teleskop auf dem Calar Alto handelt. Detlef Koschny hatte im Rahmen des "Programms zur Weltraumlageerfassung“ (Space Situational Awareness Program) der European Space Agency (ESA) finanzielle Mittel bewilligt bekommen. Das Budget zur Reanimation des Teleskops scheint nicht sehr hoch gewesen zu sein, denn er hatte seine privat gekaufte Digitalkamera nach Spanien verschifft und dort ans Teleskop montieren lassen.

Die Kamera ist eine SBIG ST-10XME, womit sich bei der Brennweite von 2,4 Meter ein Gesichtsfeld von nur 21,3x14,3 Bogenminuten ergibt. Natürlich ist das für ein Schmidt-System winzig im Vergleich zum optisch korrigierten Bildfeld.

Das Teleskop wurde auf Fernsteuerung umgerüstet, so dass die Objekte mittels xml-Skript automatisiert angefahren werden und letztendlich der Benutzer über einen ftp-server seine Aufnahmen zur Auswertung herunterladen kann.

[3] *Jochen Schramm, 2010: „Sterne über Hamburg“, Kultur- & Geschichtskontor Hamburg 2010, ISBN: 978-3-9811271-8-8*

Der ESA/ESRIN Mitarbeiter Marco Micheli durfte die ersten Tests machen. Danach war bereits der Autor ab Dezember 2016, als zweiter Nutzer remote controlled an der Reihe, siehe Abbildung 1.

Abbildung 1: Der Autor beim Fernsteuern des Calar-Alto-Schmidt-Teleskops.

Mein Einsatzgebiet war natürlich immer noch die Wiederentdeckung gefährlicher Kleinplaneten, wofür ich bereits im Jahre 2012 von Detlef Koschny für die Arbeit am 1m-Ritchey-Chrétien der ESA auf Teneriffa berufen wurde. Die Unterschiede bestanden darin, dass ich das Schmidt-Teleskop auf dem Calar Alto zum einen von zuhause aus steuern konnte und zum anderen keine zeitlichen Einschränkungen hatte, wie beim ESA-Teleskop auf Teneriffa, an dem ich nur an 4-6 Nächten pro Monat beobachten konnte.

Mit dem Schmidt Teleskop auf dem Calar Alto war ich schließlich im Zeitraum von Dezember 2016 bis April 2018 an der Veröffentlichung von rund 120 Minor Planet Electronic Zirkulare (MPECs) beteiligt. Eine Auflistung dieser MPECs ist auf meiner Homepage zu finden [4]. Weiterhin gelangen mir die Wiederentdeckung der zwei erdnahen Kleinplaneten 2017 DO36 sowie 1999 FN19, die in *Minor Planet Zirkularen* veröffentlicht wurden [5,6]. Für meine Wiederentdeckung folgender fünf Kometen: P/2005 JN (SPACE-WATCH), P/2013 CU129 (PANSTARRS), P/2011 VJ5 (LEMMON), P/2010 P4 (WISE) und P/2011 CR42 (CATALINA), wurde jeweils ein *Electronic Telegram der Internationalen Astronomischen Union* veröffentlicht[7,8,9,10,11]. Die Wiederentdeckung des Kometen P/2011

[4] Erwin Schwab, Internetseite calar-alto-schmidt, *http://erwinschwab.de/calar-alto-schmidt*
[5] Minor Planet Circular, MPEC 2018-H40 , *https://minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18H40.html*
[6] Minor Planet Circular, MPEC 2018-C111, *https://minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18CB1.html*
[7] IAU Electronic Telegram, Central Bureau Electronic Telegrams, 4429, (2017).
[8] IAU Electronic Telegram, Central Bureau Electronic Telegrams, 4455, (2017).
[9] IAU Electronic Telegram, Central Bureau Electronic Telegrams, 4474, (2018).
[10] IAU Electronic Telegram, Central Bureau Electronic Telegrams, 4497, (2018).
[11] IAU Electronic Telegram ,Central Bureau Electronic Telegrams, 4510, (2018).

CR42 (CATALINA) hat den Betreibern des Calar-Alto-Observatoriums so gut gefallen, dass sogar folgende Presseschlagzeile auf deren Internetseite erschienen ist: RECOVERING OF COMET CATALINA WITH THE SCHMIDT TELESCOPE[12].

Über die Wiederentdeckung von *„NEOs und Kometen mit dem Hamburger-Schmidt-Teleskop auf dem Calar Alto“* berichte ich ausführlich im Journal der Astronomie, eine Zeitschrift der Vereinigung der Sternfreunde [13].

Messung der Rotationslichtkurve des 2018 AM12

Aufgrund der möglichen Impaktgefahr werden den erdnahen Objekten besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Das *Minor Planet Center* hat hierfür die *NEO Confirmation Page* eingerichtet [14]. Nach der Entdeckung eines potentiellen Kandidaten, werden dessen Ephemeriden innerhalb sehr kurzer Zeit auf der *NEO Confirmation Page* aufgelistet, was eine weltweite Nachfolgebeobachtung ermöglicht. Neben der Wiederentdeckung von bekannten erdnahen Objekten gehören auch diese Nachfolgebeobachtungen neuer Kandidaten zu den Hauptaufgaben des "Programms zur Weltraumlageerfassung“ (Space Situational Awareness Program) der European Space Agency (ESA).

Am 16. Januar 2018 hatte ich mir einen ganz besonderen erdnahen Kleinplaneten auf der NEO Confirmation Page herausgesucht, was sich allerdings erst im Laufe der Beobachtung herausstellte. Das Objekt P10G8tt wurde vom Pan-STARRS1-Survey entdeckt [15]. 38 Stunden nach der Entdeckung beobachtete ich das als gefährlich eingestufte Near Earth Object (NEO) ferngesteuert am 0,8m-Schmidt-Teleskop des Calar Alto Observatoriums (IAU Code Z84). Zu diesem Zeitpunkt war dieser NEO nur rund 10 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Später bekam das Objekt die Designation 2018 AM12 und es konnte aufgrund der Bahngeometrie dem Aten-Typ zugeordnet werden.

Bereits beim Sichten der ersten Aufnahmen fiel mir auf, dass das Objekt einen extremen Lichtwechsel zeigt, mit einer Peak-to-Peak-Amplitude von über eine Magnitude. Inzwischen hatte das Teleskop jedoch bereits das nächste Target meines xml-Skripts angefahren. Damit die Vermessung einer Rotationslichtkurve mit ausreichender Statistik möglich ist, entschloss ich mich nochmals 2018 AM12 anzusteuern und die Beobachtungszeit für dieses interessante Objekt auf fast 1,5 Stunden zu verlängern. Wegen dieser Unterbrechung zeigt sich in der Lichtkurve eine Lücke ohne Datenpunkte, siehe Abbildung 2. Eine Tabelle der Datenpunkte ist im Anhang zu finden.

[12] CAHA Press Release (2018), Recovering of comet Catalina with the Schmidt telescope, *http://www.caha.es/news/releases-mainmenu-163/12812-recovering-of-comet-catalina-with-the-schmidt-telescope*
[13] Erwin Schwab (2018). NEOs und Kometen mit dem Hamburger-Schmidt-Teleskop auf dem Calar Alto, VdS-Journal Nr.67
[14] NEO Confirmation Page, *http://www.minorplanetcenter.net/iau/NEO/ToConfirm.html*
[15] MPC (2018). MPEC 2018-B27: 2018 AM12, *www.minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18B27.html*

Für die Datenreduktion wurde die Software Astrometrica mit dem Gaia DR-1 Sternenkatalog verwendet [16], welche ich auch immer für die astrometrischen Auswertungen benutze. Durch das bloße Anschauen der Rotationslichtkurve ist eine eindeutige Rotationsperiode nicht gut zu verifizieren. Deshalb folgte die Bestimmung der Rotationsperiode mittels der Fourier-Analyse, siehe nächstes Kapitel.

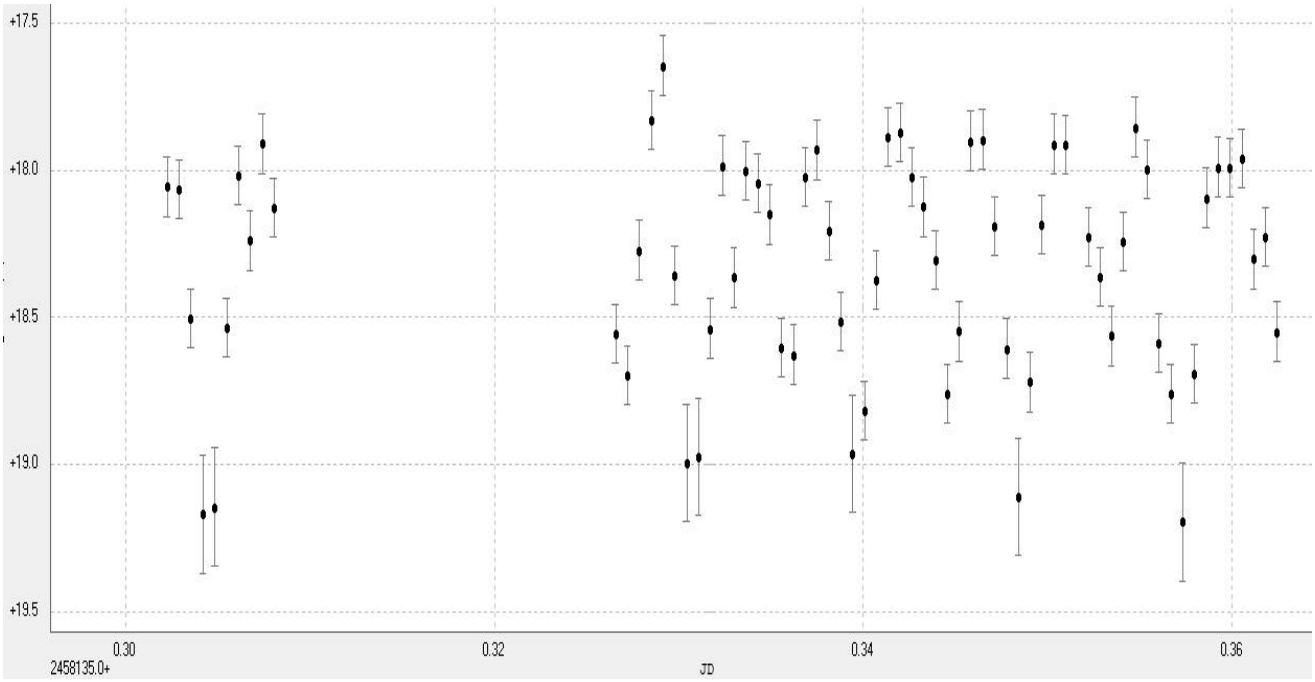


Abbildung 2: Die Rotationslichtkurve des 2018 AM12. Die scheinbare Helligkeit in Magnitude, gemessen im G-Band (Gaia-Band), ist aufgetragen über dem Julianischen Datum (nicht Lichtlaufzeitkorregiert).

[16] Raab, Herbert (2016). Astrometrica software, *www.astrometrica.at/*

Ermittlung der Rotationsperiode des 2018 AM12

Jede periodische Funktion kann man in eine endlose Anzahl von Sinus-Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden zerlegen. Man nennt dieses Verfahren Fourier-Analyse. Bei der Auswertung von Kleinplaneten-Lichtkurven wird die Fourier-Analyse eingesetzt, um deren Rotationsperiode zu bestimmen.

Da ich schon seit langem keine Lichtkurve mehr ausgewertet hatte, das Calar-Alto-Schmidt-Teleskop hatte ich bisher ausschließlich für astrometrische Messungen benutzt, musste nach einer geeigneten Software Ausschau gehalten werden. Rolf Apitzsch, den ich von verschiedenen Kleinplaneten-Tagungen kenne, gab mir den Tipp die Perioden-Analyse-Software Peranso zu verwenden [17]. Das Ergebnis der Periodenanalyse unter Verwendung der internen ANOVA-Methode dieser Software ist in Abbildung 3 zu sehen. Es sind zwei deutliche Maxima zu erkennen, wobei das erste Maximum die halbe Rotationsperiode ist.

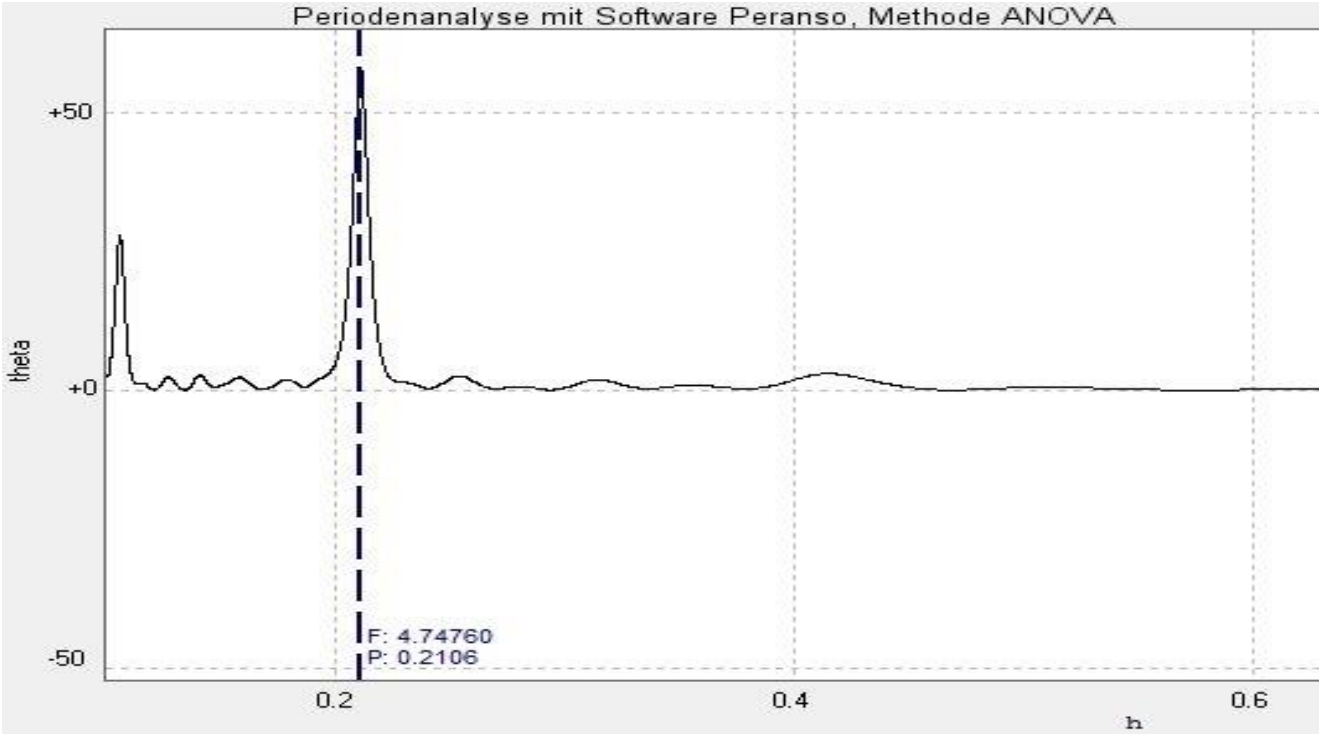


Abbildung 3: Periodenanalyse mit der Software Peranso [17]. Die Auswertung mit der ANOVA-Methode zeigt ein deutliches Maximum bei der Rotationsperiode von 0,2106 Stunden (12,636 Minuten). Ein weiteres Maximum befindet sich bei der halben Rotationsperiode.

Nach der Auswertung wurde offensichtlich, dass dieser Kleinplanet eine kurze Rotationsperiode von nur 12,636 Minuten ±0,078 Minuten (0,2106 Stunden ±0.0013 Stunden) hat. Mit dem Kennen der Rotationsperiode kann ein neuer Graph erzeugt werden,

[17] CBABelgium.com (2018). Peranso software, www.cbabelgium.com/peranso/

der alle Messpunkte in der Zeitdauer einer einzigen Rotation zeigt - die sogenannte Phasendarstellung, siehe Abbildung 4.

Die hier gezeigte Phasendarstellung sowie die ermittelte Rotationsperiode wurde vom Autor im *Minor Planet Bulletin* veröffentlicht (Schwab et al. 2018)[18], welche auch im Anhang abgedruckt zu finden ist. Außerdem wurde eine ESA-Pressemitteilung der Öffentlichkeit im Internet zur Verfügung gestellt, mit dem Titel **A LARGE FAST-ROTATING ASTEROID** [19].

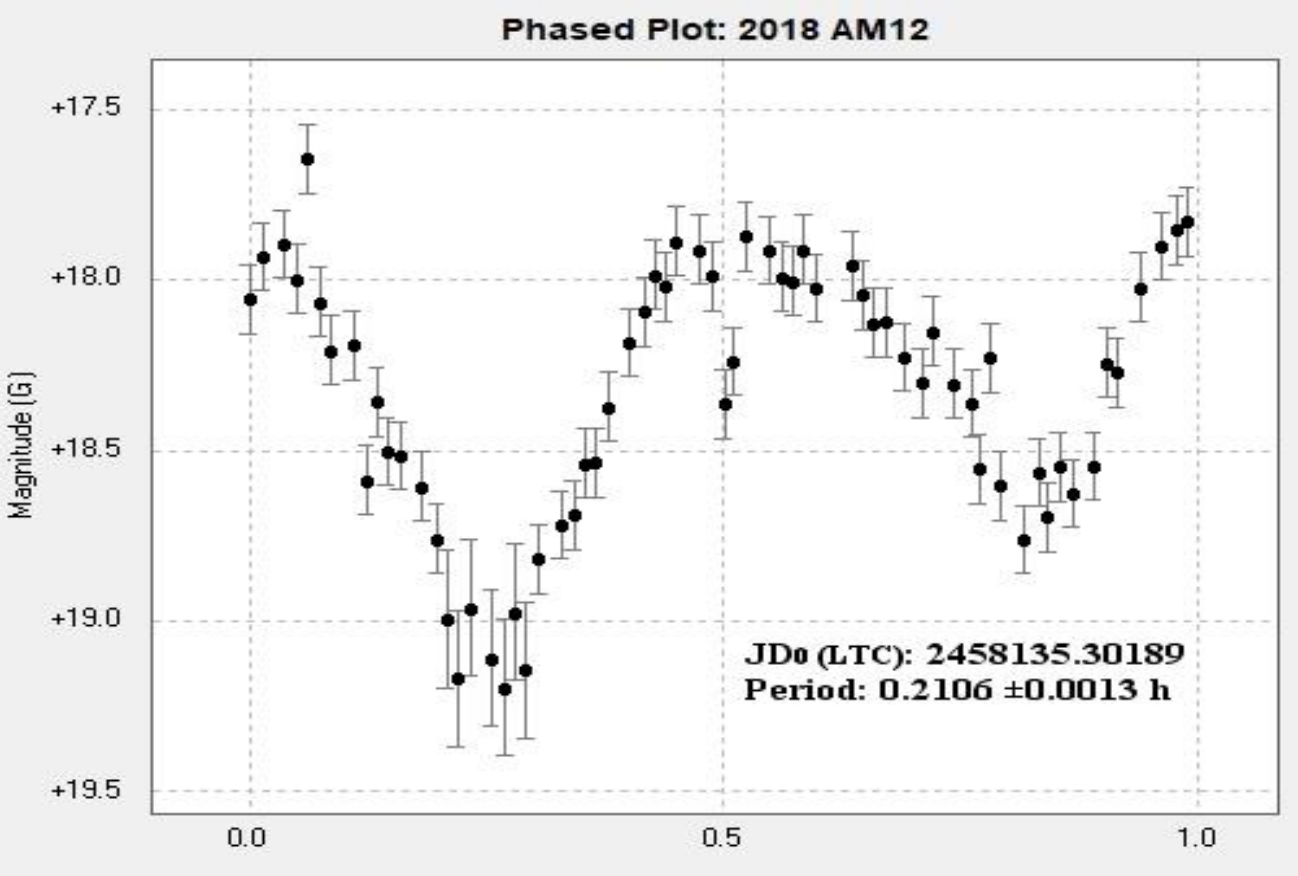


Abbildung 4: Phasendarstellung. Überlagerung der Rotationslichtkurve basierend auf der Rotationsperiode von 0.2106 ±0.0013 Stunden (12,636 Minuten ±0,078 Minuten). Die Messwerte überspannen einen Zeitraum von 7 Rotationen. Der Nullpunkt der Phase liegt beim lichtlaufzeit-korrigierten Julianischen Datum, JD0 (LTC) = 2458135.30189. Bildautor: Erwin Schwab et al. [18]

Zur Kontrolle hat der Autor auch die Phasendarstellung der halben und doppelten Rotationsperiode generiert. Diese sind im Anhang abgedruckt und können aufgrund der Form als mögliche Lösungen ausgeschlossen werden. Die Berechnung der Lichtlaufzeitkor-rektur befindet sich ebenso im Anhang.

[18] Erwin Schwab, Detlef Koschny, Marco Micheli (2018). Rotation Period for the Potentially Hazardous Asteroid 2018 AM12, Minor Planet Bulletin, Issue 45-3 (2018 Jul-Sep), Pg 225.

[19] ESA Press Release (2018), A LARGE FAST ROTATING ASTEROID, *http://neo.ssa.esa.int/news-archive*

Abschätzung der Größe des 2018 AM12

Sobald ein Orbit eines Kleinplaneten vom *Minor Planet Center* berechnet wird, wird auch dessen absolute Helligkeit bestimmt. Unter der Annahme einer Albedo (Reflexionsvermögen der Oberfläche) und der absoluten Helligkeit lässt sich dann auch mit folgender Formel der Durchmesser berechnen (gemäß Bowell 1989)[20].

$$D_{KM} = 1329 * 10^{-0.2*H} / \sqrt{p}$$

D_{km}=Durchmesser in Km
H=absolute Helligkeit in Mag
p=Albedo

Die absolute Helligkeit des 2018 AM12 wird von der *Minor Planet Center Database*[21] mit 21,2 Magnitude angegeben. Dies ist natürlich ein Mittelwert, da das Objekt einen sichtbaren Rotationslichtwechsel zeigt, welcher gemäß der Lichtkurve des Autors eine Peak-to-Peak-Amplitude von 1,2 Magnituden hat. Im Maximum hat das Objekt somit eine absolute Helligkeit von 20,6 Magnitude und im Minimum 21,8 Magnitude.

Da die Albedo bei 2018 AM12 noch nicht mit spektroskopischen Methoden bestimmt werden konnte, ist der wahrscheinlichste Wert anzunehmen. Die dominante taxonomische Asteroiden-Klasse im erdnahen Raum ist die S-Klasse. Über 60% der Near-Earth-Objects gehören zu diesem Typ, welche eine Albedo von 20% haben (siehe B. Carry et al)[22]. Die anderen taxonomischen Asteroiden-Klassen, welche noch in Frage kämen, haben eine geringere Albedo als die 20% der S-Klasse. Geringere Albedo bei gleicher absoluter Helligkeit ergibt gemäß obiger Formel einen größeren Durchmesser. Die nun folgende Abschätzung ergibt somit eine minimale Größe des 2018 AM12.

Mit der einfachen Annahme, dass das Objekt die Form eines biaxialen Ellipsoids hat und homogener Albedo der Oberfläche, lässt sich nun die Größe des Objektes wie folgt ermitteln:

Wir bestimmen zunächst die kleine Achse des biaxialen Ellipsoids mit obiger Formel und der absoluten Helligkeit im Minimum von 21,8 Magnitude sowie einem Albedo von 20%:

$$D_{KM} = 1329 * 10.0^{-0.2*21,8} / \sqrt{p0,2} = \mathbf{0,129\ Km}$$

Die große Achse des biaxialen Ellipsoids kann nicht mit obiger Formel direkt bestimmt werden, da diese Formel nur für runde Körper gilt. Deshalb ermitteln wir das Achsenverhältnis aufgrund der Amplitude der Rotationslichtkurve. Die Peak-to-Peak-Amplitude betrug ca. 1,2 Magnitude, was einer Helligkeitsveränderung von Faktor 3 entspricht. Die

[20] Bowell, Edward; Hapke, Bruce; Domingue, Deborah; Lumme, Kari; Peltoniemi, Jouni; Harris, Alan W., Application of photometric models to asteroids, IN: Asteroids II; Proceedings of the Conference, Tucson, AZ, Mar. 8-11, 1988 (A90-27001 10-91). Tucson, AZ, University of Arizona Press, 1989, p. 524-556.
[21] Minor Planat Database, https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%E2%9C%93&object_id=2018+AM12
[22] B. Carry et al, Spectral properties of near-Earth and Mars-crossing asteroids using Sloan photometry, Icarus,Volume 268, April 2016, Pages 340-354

große Achse des biaxialen Ellipsoids ist somit dreimal größer als die bereits bestimmte kleine Achse.

Bei einer biaxialen ellipsoiden Form ergibt sich somit eine Abmessung des 2018 AM12 von **387m x 129m x 129m**.

Handelt es sich bei 2018 AM12 um einen außergewöhnlich schnell rotierenden Kleinplaneten?

Um herauszufinden, ob die Rotationsfrequenz des 2018 AM12 außergewöhnlich hoch ist, wurde das Diagramm „Rotationsfrequenz gegen Objekt-Durchmesser“ der *Asteroid Lightcurve Photometry Database* verwendet [23] und der Ort des Asteroiden darin eingezeichnet, siehe Abbildung 6. Im vorigen Kapitel wurde die Größe von 2018 AM12 abgeschätzt und nun in diesem Diagramm entsprechend berücksichtigt. Die kleine Achse (129m) entspricht dem linken Ende der roten Linie, während das rechte Ende der roten Linie der großen Achse (387m) entspricht. Der Fehler in der Bestimmung der Rotationsfrequenz ist kleiner als die verwendete Linienstärke.

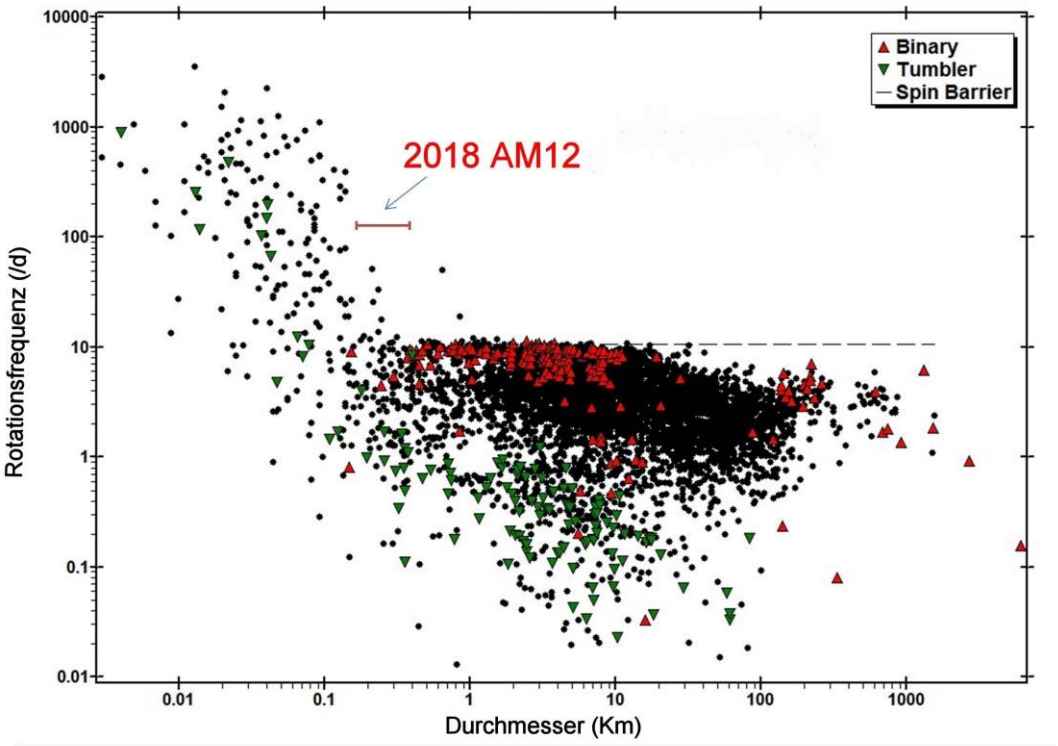


Abbildung 6: Diagramm „Rotationsfrequenz gegen Objekt-Durchmesser“. Die rote Linie ist die Position des 2018 AM12 im Diagramm. Die kleine Achse eines biaxialen Ellipsoids entspricht dem linken Ende der roten Linie (129m), während das rechte Ende der roten Linie der großen Achse entspricht (387m).
Bildautor: Asteroid Lightcurve Photometry Database [23], modifiziert von E. Schwab.

[23] Asteroid Lightcurve Photometry Database (ALCDEF), http://alcdef.org/

Durch die Eintragung ins Diagramm wird somit deutlich, dass für ein Objekt dieser Größe eine solch hohe Rotationsfrequenz sehr außergewöhnlich ist. Fast alle Asteroiden, die größer als ca. 200 Meter sind, haben Rotationsperioden länger als ~2 Stunden, was bei der im Diagramm verwendeten Einheit einer Rotationsfrequenz von weniger als 12 Rotationen pro Erd-Tag entspricht. 2018 AM12 befindet sich jedoch mit 114 Rotationen pro Erd-Tag weit jenseits dieser Spin-Barriere, in einem Bereich wo ausschließlich kompakte, sehr stabile Asteroiden existieren können. Fragilere Objekte, wie die sogenannten „rubble pile Asteroids“, also „Trümmerhaufen-“ oder „Schutthaufen-Asteroiden“, würden bei hoher Rotationsfrequenz aufgrund der extremen Fliehkräfte zerrissen werden. Weil 2018 AM12 diese „Zerreißprobe“ bestanden hat, vermutet der Autor, dass dieser Kleinplanet eine sehr feste monolithische Struktur haben muss.

Danksagung

Mein Dank geht an Detlef Koschny, Leiter des ESA-Segments für Erdnahe Objekte, der mit finanziellen Mitteln der European Space Agency (ESA) die Verwendung des Hamburger-Schmidt-Teleskops auf dem Calar Alto ermöglicht hatte.

Gedankt sei auch Marco Micheli, Mitarbeiter des ESA SSA-NEO Coordination Centre, der mich in die ferngesteuerte Bedienung des Teleskops eingewiesen hatte.

Rolf Apitzsch möchte ich danken für die Empfehlung die Perioden-Analyse-Software Peranso zu verwenden und wegen der Überprüfung meiner Auswertungen.

Dem Servicepersonal am Calar Alto Observatorium sei gedankt für die Problemlösungen vor Ort, wenn das Teleskop die Funktion verweigerte.

Ergänzung nach bereits eingereichter Arbeit:

Kräfteverhältnis auf der Planetenoberfläche

Es kann mit folgender Formel (Herleitung siehe Anhang) das Verhältnis der Gravitationskraft zur Fliehkraft auf der Oberfläche eines biaxial ellipsoid geformten Planeten bestimmt werden:

$$\frac{Fg}{Fz} = \frac{G \cdot \rho \cdot T^2}{3\pi \cdot (c/a)^2}$$

"Fz" Zentrifugalkraft [N]
"Fg" Gravitationskraft [N]
"T" Rotationszeit [s]
"G" Gravitationskonstante [m^3 kg^{-1} s^{-2}]
"ρ" Mittlere Dichte [kg/ m^3]
"c,a" Große und kleine Achse des Ellipsoids [m]

Für 2018 AM12 ergeben sich somit folgende Kräfteverhältnisse auf dessen Oberfläche, je nach angenommener mittlerer Dichte, im Vergleich zu anderen Kleinplaneten:

Kleinplanet	Dichte [kg/m3]	Rotation [h]	Achsenverhältnis	Fg / Fz	Fz/Fg
Itokawa	gemessen 1900	12.13	(530m/209m) 2.55	3.90312	0.25
1I/'Oumuamua	Eisen 7860	8.1	(230m/35m) 6.6	1.07444	0.93
(6478) Gault	Ceres 2080	2	(4000m/4000m) 1	0.75509	1.32
1I/'Oumuamua	Ceres 2080	8.1	(300m/30m) 10	0.12385	8.0
2018 AM12	Eisen 7860	0.2106	(390m/130m) 3	0.00351	284
2018 AM12	Ceres 2080	0.2106	(390m/130m) 3	0.00093	1075

Auf der Oberfläche des 2018 AM12 ist die Fliehkraft ca. 300-1000 Mal höher als die Gravitationskraft (je nachdem ob als mittlere Dichte die des Kleinplaneten Ceres oder die von Eisen angenommen wird)

Anhang

Tabelle der Datenpunkte, Photometrie zur Lichtkurve des 2018 AM12

2458135.30228|+18.056|0.1	2458135.33429|+18.045|0.1	2458135.34841|+19.108|0.2
2458135.30293|+18.065|0.1	2458135.33493|+18.150|0.1	2458135.34905|+18.719|0.1
2458135.30356|+18.504|0.1	2458135.33557|+18.604|0.1	2458135.34969|+18.184|0.1
2458135.30421|+19.168|0.2	2458135.33623|+18.626|0.1	2458135.35034|+17.911|0.1
2458135.30485|+19.143|0.2	2458135.33686|+18.022|0.1	2458135.35097|+17.912|0.1
2458135.30550|+18.535|0.1	2458135.33751|+17.931|0.1	2458135.35222|+18.227|0.1
2458135.30613|+18.019|0.1	2458135.33815|+18.205|0.1	2458135.35286|+18.361|0.1
2458135.30677|+18.239|0.1	2458135.33878|+18.514|0.1	2458135.35347|+18.563|0.1
2458135.30742|+17.910|0.1	2458135.33943|+18.962|0.2	2458135.35411|+18.243|0.1
2458135.30806|+18.126|0.1	2458135.34007|+18.818|0.1	2458135.35475|+17.854|0.1
2458135.32659|+18.554|0.1	2458135.34072|+18.372|0.1	2458135.35539|+17.996|0.1
2458135.32723|+18.695|0.1	2458135.34135|+17.887|0.1	2458135.35603|+18.586|0.1
2458135.32787|+18.271|0.1	2458135.34199|+17.873|0.1	2458135.35668|+18.758|0.1
2458135.32852|+17.830|0.1	2458135.34264|+18.024|0.1	2458135.35731|+19.194|0.2
2458135.32916|+17.645|0.1	2458135.34328|+18.124|0.1	2458135.35795|+18.690|0.1
2458135.32980|+18.358|0.1	2458135.34392|+18.304|0.1	2458135.35860|+18.094|0.1
2458135.33044|+18.994|0.2	2458135.34456|+18.760|0.1	2458135.35924|+17.989|0.1
2458135.33108|+18.973|0.2	2458135.34521|+18.547|0.1	2458135.35988|+17.991|0.1
2458135.33172|+18.537|0.1	2458135.34584|+17.901|0.1	2458135.36052|+17.959|0.1
2458135.33236|+17.984|0.1	2458135.34648|+17.895|0.1	2458135.36117|+18.302|0.1
2458135.33301|+18.364|0.1	2458135.34713|+18.191|0.1	2458135.36181|+18.228|0.1
2458135.33365|+18.003|0.1	2458135.34777|+18.605|0.1	2458135.36244|+18.548|0.1

1. Spalte: Julianisches Datum, **nicht** Lichtlaufzeitkorrigiert
2. Spalte: scheinbare Helligkeit im G-Band (Gaia-Band)
3. Spalte: Fehler der scheinbaren Helligkeit

Nach der Veröffentlichung der Rotationsperiode des 2018 AM12 im **Minor Planet Bulletin** wurden die Daten der obigen Tabelle am 20.7.2018 an die **Asteroid Lightcurve Photometry Database** übermittelt. Dort können sie über folgende Internetseite abgerufen werden: *http://alcdef.org/*
Am 23.7.2018 beinhaltete diese Datenbank die Lichtkurven von 13481 Objekten.

Berechnung der Lichtlaufzeitkorrektur

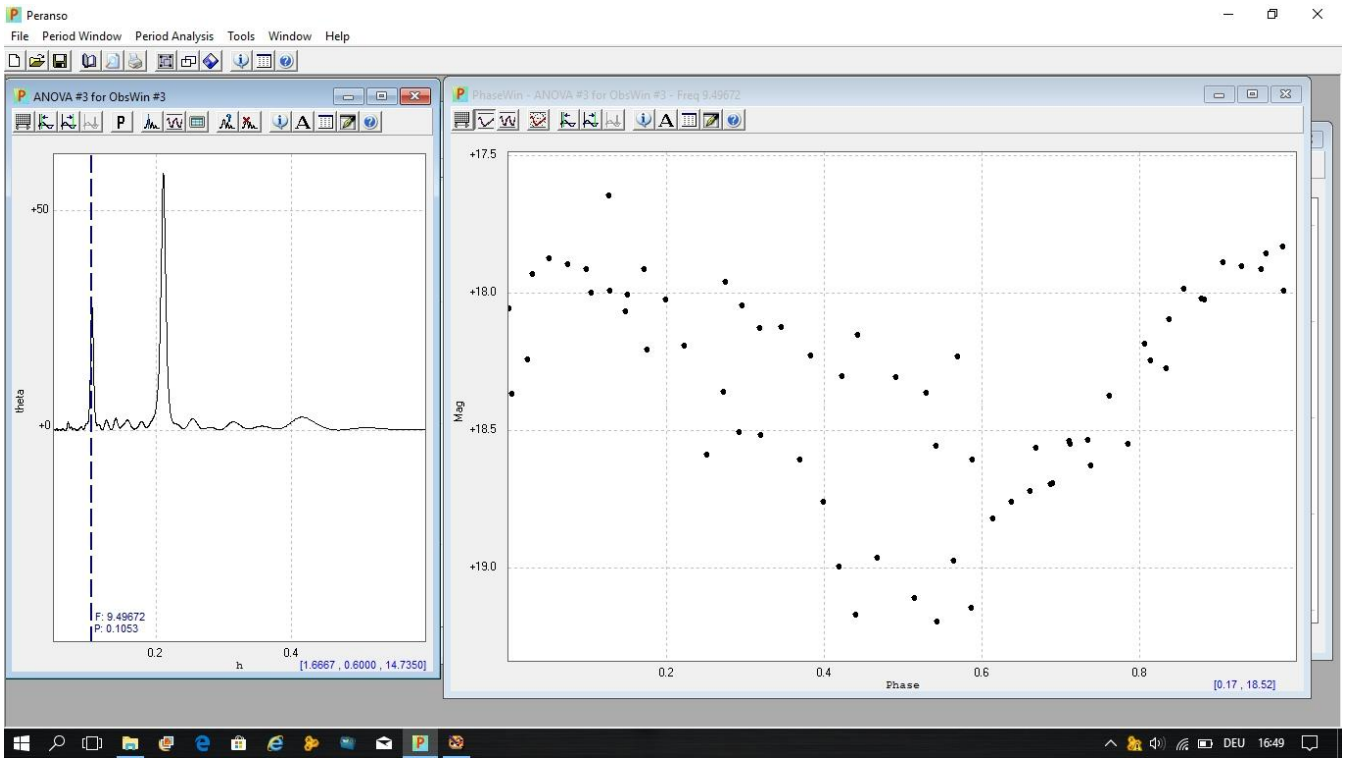
Für die Entfernung einer Astronnomischen Einheit (AE) braucht das Licht 0,00577552 Tage. 2018 AM12 war zum Zeitpunkt der Messungen 0,067 AE von der Erde entfernt. Die Entfernung wurde mit dem *Ephemeriden Service des Minor Planet Centers* ermittelt [24].
Für die Strecke von 0.067 AE brauchte das Licht somit:
t_{LTC} = 0,067 AE x 0,00577552 Tage/AE = 0,00038696 Tage
Die Datenpunkte in obiger Tabelle sind nicht Lichtlaufzeitkorrigiert. Die erste Messung liegt bei folgendem Julianischen Datum: JD0 = 2458135.30228
Das Lichtlaufzeitkorrigierte Julianische Datum ist somit:

$JD0_{LTC} = JD0 - t_{LTC}$ = 2458135.30228 - 0,00038696 = <u>2458135.30189</u>

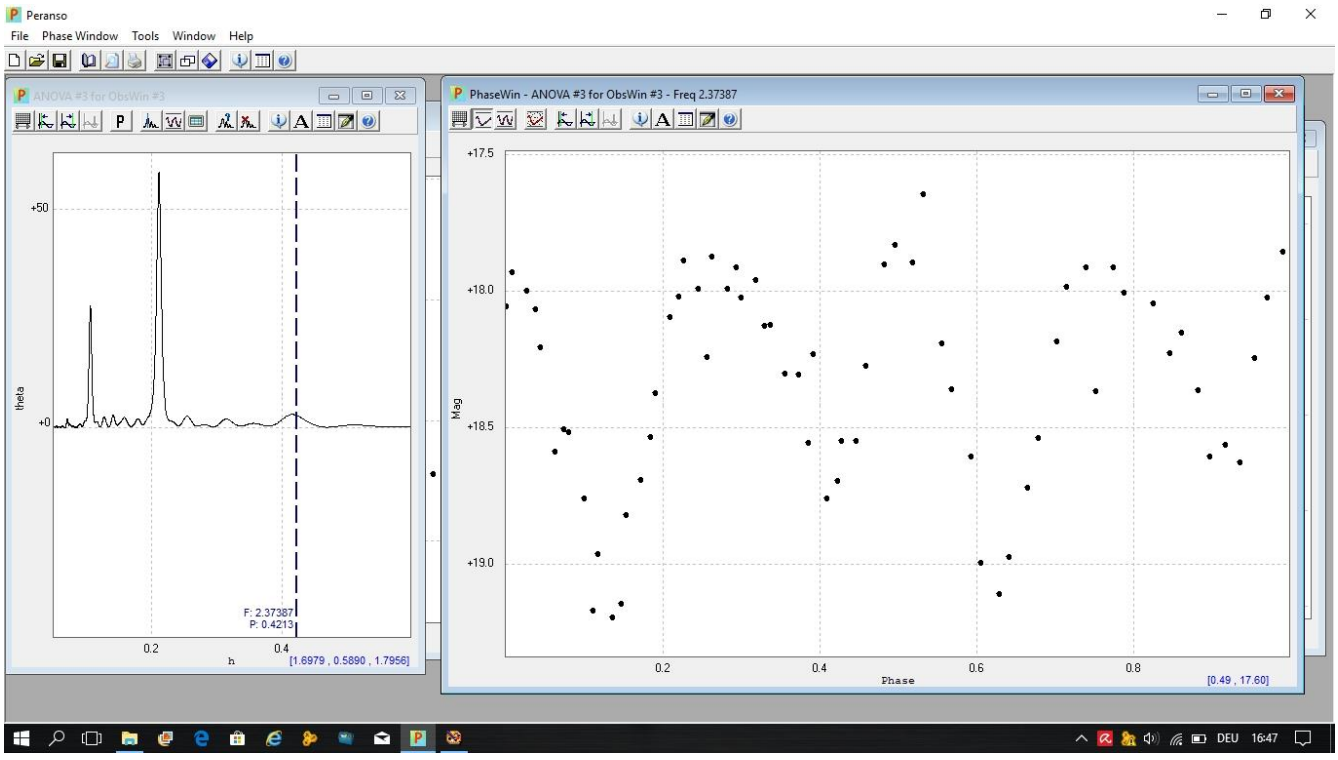
Damit ergibt sich folgendes Lichtlaufzeitkorrigierte Julianische Datum für den ersten Messpunkt: $JD0_{LTC}$ = 2458135.30189, wie im **Minor Planet Bulletin** veröffentlicht.

[24] Ephemeriden Service des MPC, *https://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html*

Darstellung der halben und doppelten Rotationsperiode



Darstellung der halben Periode



Darstellung der doppelten Periode

Veröffentlichung im Minor Planet Bulletin *Issue 45-3 (2018 Jul-Sep), Pg 225*.

ROTATION PERIOD FOR THE POTENTIALLY HAZARDOUS ASTEROID 2018 AM12

Erwin Schwab
Taunus Observatory of the Physikalischer Verein, Frankfurt
Westendstr. 8
D-63329 Egelsbach, GERMANY
e.schwab@gsi.de

Detlef Koschny
ESA/ESTEC
NL-2201 AZ Noordwijk ZH, THE NETHERLANDS

Marco Micheli
ESA SSA-NEO Coordination Centre
I-00044 Frascati (RM), ITALY

(Received: 2018 Feb 1)

The potentially hazardous asteroid 2018 AM12 was observed on 2018 January 16. The synodic period was found to be 0.2106 ±0.0013 h.

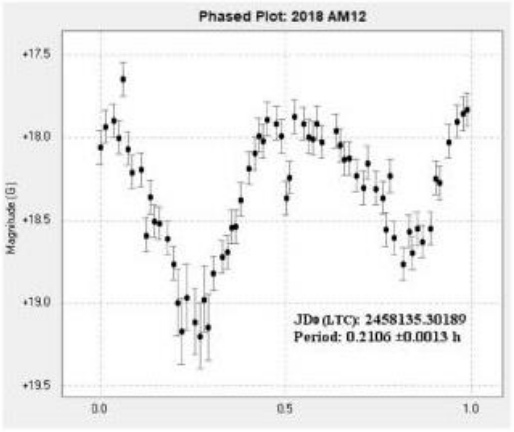
The near-Earth asteroid 2018 AM12 was discovered on 2018 January 15 by the Pan-STARRS1 survey and classified as a potentially hazardous asteroid (PHA). About 38 hours later, on 2018 January 16, we observed it remotely with the 0.8-meter f/3.0 Schmidt telescope at Calar Alto Observatory, Spain (MPC Z84).

The CCD camera used was a SBIG ST-10XME with 2184x1472 array of 6.8 micron pixels operated in un-binned mode. This configuration gave a field-of-view of 21.3x14.3 arcmin and an image scale of 0.58 arcsec per pixel. No filter was used. Due to the asteroid's rapid sky motion the exposure time was 30 s. The readout time was 25 s. Dark and flat-field frames could not be taken, because it is not yet implemented in the software for remote control.

The data reduction was done with *Astrometrica* using the Gaia DR-1 star catalogue. For the rotation period analysis the software *Peranso* was used, with the internal period analysis ANOVA method. The solution favored by the period spectrum resulted in a best value for the period of 0.2106 ±0.0013 h.

The asteroid was observed over a time span of 1.44 h, which corresponds to about 7 rotation periods. The periodic behavior is shown in the phased lightcurve. The Julian Date is light-time corrected, $JD_{0\,(LTC)}$ = 2458135.30189. The peak-to-peak amplitude is about 1.2 mag. The observational circumstances and results are summarized in Table I.

The object has an estimated absolute magnitude of approximately 21.4, which would correspond to a diameter between 150 meter and 300 meter, assuming a typical range of albedos. It is therefore possible that this asteroid could be larger than the ~200-meter spin barrier above which only very few fast rotators are known.



Acknowledgements

The work is funded by the Space Situational Awareness Programme of the European Space Agency (ESA), contract number 4000116155/15/D/AH (P2-NEO-VIII).

References

MPC (2018). MPEC 2018-B27: 2018 AM12
www.minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18B27.html

Raab, Herbert (2016). Astrometrica software
www.astrometrica.at/

CBABelgium.com (2018). Peranso software
www.cbabelgium.com/peranso/

Warner, B.D., Harris, A.W., Pravec, P. (2009). "The Asteroid Lightcurve Database." *Icarus* **202**, 134-146. Updated 2018 Jan. *http://www.minorplanet.info/lightcurvedatabase.html*

Number	Name	2018 mm/dd	Pts	Phase	L_{PAB}	B_{PAB}	Period(h)	P.E.	Amp	A.E.	Grp
	2018 AM12	01/16	66	88.8	70	-17	0.2106	0.0013	1.2	0.1	NEA

Table I. Observing circumstances and results. Pts is the number of data points. L_{PAB} and B_{PAB} (phase angle bisector longitude and latitude) and the phase angle are given at approximate mid-time of the observations on 2018 January 16 at 20:00 UT. Grp is the asteroid family/group (Warner et al., 2009).

© Minor Planets Section of the ALPO • Provided by the NASA Astrophysics Data System

Tabelle der größten schnell rotierenden Asteroiden

Nummer	Designation	D[Km]	H	Albedo	Periode [h]	PerErr [h]	Amp [mag]	Referenz für Periode	BibCode für Periode
	2018 AM12	0.171	21.2	0.200	0.2106000	0.0013000	1.200	Schwab 2018	2018MPBu...45..225S
515082	2010 TM3	0.225	20.6	0.200	0.0430810	0.0000360	0.550	Statler 2013	2013Icar..225..141S
	2014 VQ	0.259	20.3	0.200	0.1160300	0.0000010	0.620	Warner 2015h	2015MPBu...42..115W
	2008 YZ32	0.284	20.1	0.200	0.0963683	0.0000007	0.390	Birtwhistle 2018a	2018MPBu...45..178B
	2001 UC5	0.306	21.3	0.057	0.0293100	0.0000800	0.110	Whiteley 2002b	2002ESASP.500..473W
482250	2011 LL2	0.311	19.9	0.200	0.1032000	k.a.	k.a.	Hergenrother 2012b	
285625	2000 RD34	0.818	17.8	0.200	0.0650000	0.0010000	0.080	Vaduvescu 2017	2017EM&P..120...41V
27346	2000 DN8	1.960	15.9	0.200	0.0680000	0.0010000	0.100	Vaduvescu 2017	2017EM&P..120...41V
305454	2008 DP4	3.200	16.2	0.057	0.0607000	k.a.	k.a.	Hergenrother 2012b	

Tabelle der Kleinplaneten (Asteroiden), die sowohl schneller rotieren als auch größer sind als 2018 AM12. Die gelb markierte Reihe ist 2018 AM12. Der einzige Hauptgürtel-Kleinplanet ist 2008 DP4, alle anderen sind NEOs.

In der offiziellen Datenbank, welche die Rotationsperioden von 13481 Objekte beinhaltet (Stand 2018-07-23) sind bisher nur 8 Kleinplaneten bekannt, die schneller Rotieren als 2018 AM12 und zugleich größer sind, siehe Tabelle. Keines der Objekte in der Tabelle zeigt eine höhere Amplitude als 2018 AM12, woraus man schließen kann, dass von diesen Objekten die irreguläre Form am stärksten bei 2018 AM12 ausgeprägt ist.

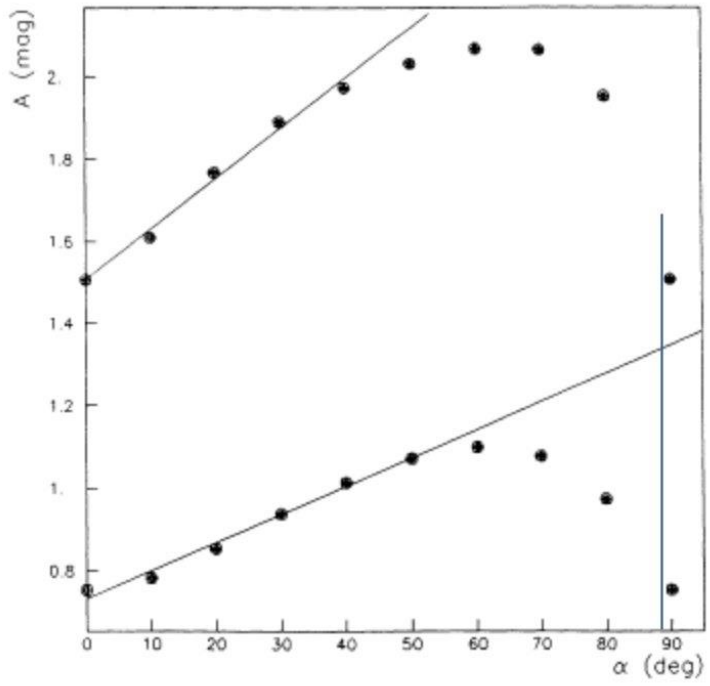


Fig. 1. Computed amplitude–phase relationships for two numerical models corresponding to a biaxial ellipsoid ($a:b:c = 4:1:1$) (top), and to a triaxial ellipsoid ($a:b:c = 4:2:1$) (bottom). Equatorial view was assumed in both cases

Asteroiden Modell bei verschiedenen Phasenwinkel

Quelle:
Zappala, V., Cellino, A., Barucci, A. M., Fulchignoni, M., & Lupishko, D. F.
Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 231, no. 2, May 1990, p. 548-560.

Vom Autor ist die Senkrechte Linie bei Phase = 88 Grad. Bei 88 Grad hat die Amplitude zufällig fast den gleichen Wert wie bei 0 Grad. 2018 AM12 ist stärker deformiert als 3:1:1, denn 3:1:1 hat eine Amplitude von ~1,1 bei 0 und 88 Grad.

Herleitung der Formel für das Verhältnis von Gewichtskraft und Zentrifugalkraft auf der Oberfläche eines Planeten

Herleitung der Kraftverhältnisse für die Form eines biaxialen Ellipsoids mit Verhältnis der kleinen Achse a zur großen Achse c

Formel für die Gewichtskraft und Formel für die Masse eines dreiachsigen Ellipsoids (a;b;c sind die Achsen):

$$Fg = \frac{G * m * M}{r^2}$$

$$M = \rho \cdot 4/3\ \pi\ a*b*c$$

Es wird das Kräfteverhältniss bestimmt an der vom Mittelpunkt weitesten entfernteste Stelle, c

wobei die Achse b = a bei biaxialem Ellipsoid.

$$Fg = \frac{G \cdot m \cdot \rho \cdot 4/3\ \pi\ c*a^2}{c^2}$$

"Fz" Zentrifugalkraft [N]
"Fg" Gravitationskraft [N]
"T" Rotationszeit [s]
"F" Kraft zwischen den beiden Massen in Newton [N]
"G" Gravitationskonstante [$m^3\ kg^{-1}\ s^{-2}$]
"m" Masse des kleinen Massepunktes auf der Oberfläche [kg]
"M" Masse des Kleinplaneten [kg]
"r" Abstand zwischen den Massepunkten, Radius des KPs [m]
"ρ" Mittlere Dichte [kg/ m^3]
" V" Volumen [m^3]
a,b,c Achsen des Ellipsoids [m]

Die Zentrifugalkraft am weitesten entfernten Punkt der Achse c beträgt

$$Fz = \frac{m * 4\pi^2 * c}{T^2}$$

Das Verhältnis von Fg zu Fz ergibt sich somit:

$$\frac{Fg}{Fz} = \frac{G \cdot \rho \cdot T^2}{3\ \pi}\ (a/c)^2$$

oder

$$\frac{Fg}{Fz} = \frac{G \cdot \rho \cdot T^2}{3\ \pi \cdot (c/a)^2}$$

Bei sphärischem Körper fällt der Faktor $(a/c)^2$ weg